IRS
STANDARD ROMÂN

SR 7246

Octombrie 1998
Indice de clasificare F 41

MOTOARE ASINCRONE TRIFAZATE
Metode de încercare

Three phase asynchronous motors. Test methods

Moteurs asynchrones triphases. Methodes d'essai

APROBARE	Aprobat de Directorul General al IRS la 23 decembrie 1997 Înlocuieşte STAS 7246-91
CORESPONDENŢA	La data aprobării prezentului standard, nu există nici un standard internaţional sau european care să se refere la acelaşi subiect On the date of this standard approval, there is no international or European Standard dealling with the same subject À la date d'approbation de la présente norme il n'existe pas aucune Norme internationale ou Europèene traitant du méme sujet
DESCRIPTORI TIT	Motor electric rotativ, încercare, determinare

INSITUTUL ROMÂN DE STANDARDIZARE (IRS), str. J.L.Calderon 13 -70201, Bucureşti,2, România, TP (401) 2107401; (401) 2113296; TF (401) 2100833

Membrii Comitetului Tehnic CT 1 "**Mașini electrice rotative**" care au participat la elaborarea prezentului standard:

Președinte:	dl	Constantin Apetrei	
Secretar:	dna	Rodica Vasile	ICPE ME – București
Reprezentant IRS:	dna	Tatiana Scărlătescu	
Membri:	dl	Gavril Bogye	IAME – SF. Gheorghe
	dl	Vasile Radu Bodea	TMC – Filiași
	dl	G. Burlea	Electroprecizia – Săcele
	dl	Dan Barbu	UME – București
	dl	Ovidiu Drăgănescu	Universitatea – Craiova
Invitat	dna	Marcela Avramescu	EUROTEST – București

Anteproiectul a fost elaborat de dl Ovidiu Drăgănescu

Modificări după aplicare:

Nr. modificării	Buletinul Standardizării Nr. /an	Punctele modificate

PREAMBUL

Prezentul standard a fost elaborat în anul 1962 și a fost revizuit în anii 1974, 1982 și 1991.

Pentru a patra ediție, cea din 1991 din partea utilizatorilor s-au primit observații dar și propuneri de completare a standardului cu o nouă metodă de încercare – o metodă rapidă de verificare a cuplurilor din caracteristica de pornire, mai exact de verificare a zonei din curba cuplului de pornire în care se situează cuplurile semnificative.

Din aceste considerente s-a elaborat inițial un proiect de modificare a ediției din anul 1991 a standardului, a cărui discutare în ședința de Comitet Tehnic a condus la propunerea de a reface standardul cu toate completările necesare. La redactarea noii ediții autorul a considerat necesar să introducă și o metodă de verificare a reactanței de scăpări.

Pentru următoarele standarde românești, la care se face referire în textul standardului, există standarde internaționale corespunzătoare:

SR CEI 34/5-93	IDT	CEI 60034/5-1991
SR CEI 34/7-96	IDT	CEI 60034/7-1992
SR CEI 34/14-93	NEQ	CEI 60034/14-1996

CUPRINS

1 OBIECT şi DOMENIU DE APLICARE

1.1 Prezentul standard stabileşte metodele de încercare a motoarelor asincrone trifazate cu puteri peste 0,06 kW şi frecvenţa nominală până la 400 Hz inclusiv, care fac obiectul STAS 1893 (standard pe părţi).

1.2 Pentru motoarele asincrone trifazate cu utilizare specială şi pentru cele cu utilizare determinată prevederile prezentului standard se aplică numai dacă se indică în standardele de produs.

2 REFERINŢE NORMATIVE

Următoarele documente normative conţin prevederi care, prin referinţele făcute în acest text, constituie prevederi pentru prezentul standard. Întrucât standardele sunt revizuite periodic, se recomandă utilizatorilor să ia în consideraţie ediţia cea mai nouă a standardelor indicate. Insitutul Român de Standardizare deţine cataloagele acestor standarde.

STAS 1893/1-87	Maşini electrice rotative. Condiţii tehnice generale.
STAS 1893/2-87	Maşini electrice rotative. Reguli şi metode pentru verificarea calităţii.
SR 13377:1997	Motoare asincrone trifazate. Metodă pentru determinarea pierderilor în fier şi a randamentului în orice regim de funcţionare.
STAS 9904/1-81	Maşini electrice rotative. Metode de încercare. Prescripţii generale.
STAS 9904/2-81	Maşini electrice rotative. Metode de încercare. Verificarea izolaţiei.
STAS 9904/3-75	Maşini electrice rotative. Metode de încercare. Determinarea rezistenţei înfăşurărilor în curent continuu.
STAS 9904/4-81	Maşini electrice rotative. Metode de încercare. Încercarea la încălzire.
STAS 9904/5-75	Maşini electrice rotative. Metode de încercare. Încercarea la suprasarcină de scurtă durată şi la suprasaturaţie.
STAS 9904/6-84	Maşini electrice rotative. Metode de încercare. Determinarea cuplului şi curentului iniţial de pornire, a cuplului maxim şi a cuplului minim în timpul pornirii.
STAS 9904/7-75	Maşini electrice rotative. Metode de încercare. Verificarea comutaţiei.
STAS 9904/8-77	Maşini electrice rotative. Metode de încercare. Determinarea pierderilor şi a randamentului.
STAS 9904/9-82	Maşini electrice rotative. Metode de încercare. Determinarea momentului de inerţie al rotorului.
STAS 9904/10-76	Maşini electrice rotative. Metode de încercare. Determinarea debitului fluidelor de răcire.
STAS 9904/13-80	Maşini electrice rotative. Metode de încercare. Determinarea creşterii de temperatură cu rotorul blocat.
STAS 9904/14-84	Maşini electrice rotative. Metode de încercare. Determinarea rezistenţei înfăşurărilor fără deconectarea maşinii de la reţea.

STAS ISO 1680/1-91	Acustică. Cod de verificare pentru măsurarea zgomotului emis de mașinile electrice rotative. Metodă de expertiză pentru condițiile de câmp liber deasupra unui plan reflectant.
SR CEI 34/5-93	Mașini electrice rotative. Partea 5: Clasificarea gradelor de protecție asigurate de învelișurile mașinilor electrice rotative (cod IP)
SR CEI 34/7-96	Mașini electrice rotative. Partea 7: Clasificarea formelor constructive și a modurilor de montaj (Codul IM)
SR CEI 34/14-93	Mașini electrice rotative. Partea 14: Vibrația mecanică a anumitor mașini cu înălțimi ale capătului de ax de 56 mm și mai mari. Măsurare, evaluare și limite ale intensității de vibrație
STAS 3160/1-84	Verificarea calității loturilor de produse pe baza nivelului de calitate acceptabil (AQL). Reguli de utilizare a procedeelor și tabelelor statistico-matematice pentru verificarea calității prin atribute și prin măsurare
STAS 3160/2-84	Verificarea calității loturilor de produse pe baza nivelului de calitate acceptabil (AQL). Procedee și tabele statistico-matematice pentru verificarea calității prin atribute
STAS 3160/3-84	Verificarea calității loturilor de produse pe baza nivelului de calitate acceptabil (AQL). Procedee și tabele statistico-matematice pentru verificarea calității prin măsurare
STAS 3160/4-89	Reguli de eșantionare pentru verificarea prin atribute. Planuri de eșantionare pentru verificarea loturilor izolate, indexate după calitatea limită (LQ)

3 METODE DE ÎNCERCARE

Încercările la care se supun motoarele asincrone trifazate sunt indicate în tabelul 1.

Tabelul 1

Nr. crt.	Denumirea încercării	Metode de încercare conform
1	Verificarea tehnică generală	3.1
2	Măsurarea rezistenței de izolație dintre înfășurări și între înfășurări și masa masnii	3.2
3	Încercarea la tensiune mărită a izolației dintre înfășurări și între înfășurări și masa mașinii	3.3
4	Încercarea izolației dintre spire	3.4
5	Determinarea rezistenței înfășurărilor în curent continuu	3.5
6	Determinarea raportului de transformare la motoarele cu rotor bobinat	3.6
7	Verificarea sensului de rotație	3.7
8	Încercarea la funcționarea în gol	3.8
9	Încercarea la funcționarea în scurtcircuit	3.9
10	Determinarea pierderilor suplimentare	3.10
11	Încercarea la supraturație	3.11
12	Încercarea la suprasarcină de cuplu	3.12
13	Încercarea la încălzire	3.13
14	Determinarea caracteristicilor de funcționare în sarcină	3.14
15	Determinarea cuplurilor	3.16

Tabelul 1 (continuare)

Nr. crt.	Denumirea încercării	Metode de încercare conform
16	Verificarea comutației la motoarele asincrone cu colector	STAS 9904/7
17	Măsurarea nivelului de vibrații	SR CEI 31-14
18	Măsurarea nivelului de zgomot	STAS ISO 1680/1
19	Verificarea gradului normal de protecție	SR CEI 34-5
20	Determinarea momentului de inerție	STAS 9904/9
21	Determinarea reactanței de scăpări. Metoda rotorului scos	3.17

NOTĂ – Se pot utiliza și alte metode de încercare, propuse de producător de comun acord cu beneficiarul, conform standardului de produs.

Valorile parametrilor de încercare nespecificate în prezentul standard sunt conform STAS 1893/1 și STAS 1893/2, respectiv conform standardelor de produs.

La prelucrarea rezultatelor măsurărilor pentru motoarele cu putere mică trebuie să se ia în considerare consumul propriu al aparatelor de măsurarea mărimilor electrice impuse.

3.1 Verificarea tehnică generală

Conform STAS 9904/1, cu următoarea precizare:

În cazul încercărilor de lot, măsurarea mărimii și simetriei întrefierului se poate efectua și prin prelevare, dacă mărimea seriei de fabricație o justifică. În acest caz, nivelurile de calitate acceptate și de verificare se stabilesc conform STAS 3160 (standard pe părți) și trebuie precizat în standardul de produs.

3.2 Măsurarea rezistenței de izolație dintre înfășurări și între înfășurări și masa mașinii

Conform STAS 9904/2, cu următoarele precizări:

a) măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor se execută înaintea încercării la tensiune mărită;

b) la motoarele asincrone cu rotorul bobinat, rezistența de izolație trebuie să se măsoare separat la înfășurările statorice și la înfășurările rotorice;

c) la motoarele asincrone cu mai multe turații, cu înfășurări separate, rezistența de izolație a înfășurărilor trebuie să fie măsurată la capetele de ieșire ale fiecărei înfășurări;

d) rezistența de izolație se măsoară cu mașina în stare rece și cu mașina în stare caldă după încercarea de încălzire.

3.3 Încercarea la tensiune mărită a izolației dintre înfășurări și între înfășurări și masa mașinii

Conform STAS 9904/2, cu următoarea precizare:

La verificarea de lot, încercarea la tensiune mărită se execută în stare rece. Dacă se efectuează încercarea la scurtcircuit, încercarea la tensiune mărită se execută imediat după încercarea la scurtcircuit. Valoarea tensiunii de încercare este prevăzută în STAS 1893/1-87 sau în standardul de produs.

3.4 Încercarea izolației dintre spire

Conform STAS 9904/2, cu următoarele precizări:

a) la motoarele asincrone cu mai multe turații, cu înfășurări separate, încercarea izolației dintre spire se efectuează pentru fiecare turație nominală;

b) la motoarele asincrone cu rotorul bobinat, cu număr mic de poli, când încercarea se face prin ridicarea tensiunii până la 130 % din valoarea sa nominală (rotorul fiind imobilizat și înfășurarea acestuia în circuit deschis) curentul absorbit poate depăși valoarea sa nominală, ceea ce poate provoca o creștere periculoasă a temperaturii bandajelor masive sau a altor părți ale rotorului. În acest caz, se admite ca verificarea rigidității dielectrice a izolației dintre spire să se facă separat pentru înfășurarea statorică și separat pentru înfășurarea rotorică:

– se încearcă întâi înfășurarea statorică, aplicându-se tensiune mărită, cu rotorul la viteza nominală și înfășurarea rotorică în scurtcircuit. Dacă creșterea valorii curentului de magnetizare este importantă se crește concomitent și valoarea frecvenței tensiunii de alimentare, dar nu mai mult decât valoarea de supraturare;

– se încearcă apoi înfășurarea rotorică, cu rotorul antrenat în sens invers sensului de rotație a câmpului învârtitor, alimentând înfășurarea statorică cu un sistem trifazat de tensiuni.

Tensiunea aplicată înfășurării statorice, coreletă cu valoarea turația rotorului, se reglează până când la extremitățile accesibile ale înfășurării rotorice se măsoară tensiunea de încercare prescrisă.

Încercarea izolației dintre spire a înfășurării rotorului se face aplicând acesteia tensiunea de valoare dată și frecvența mărită, având înfășurarea statorului scurtcircuitată, mașina funcționând în regim de motor în gol.

3.5 Determinarea rezistenței înfășurărilor în curent continuu

Conform STAS 9904/3, cu următoarele precizări:

a) la încercările de tip, aparatele de măsură utilizate pentru determinarea rezistenței înfășurărilor trebuie să aibă clasa de precizie 0,2 sau mai bună;

b) la motoarele asincrone cu mai multe turații, cu înfășurări separate se determină rezistența la fiecare înfășurare separată.

3.6 Determinarea raportului de transformare la motoarele cu rotor bobinat

Pentru determinarea raportului de transformare se utilizează:

- metoda alimentării trifazate a înfășurării statorice;
- metoda alimentării trifazate, succesiv, a înfășurării statorice și rotorice;
- metoda alimentării unei faze a înfășurării statorice.

În mod obișnuit, raportul de transformare se determină prin metoda alimentării înfășurării statorice. Pentru determinări de precizie, se poate utiliza una din celelalte două metode.

Valoarea tensiunii aplicată înfășurărilor, la încercările de la punctul 3.6.1 și 3.6.2, trebuie să corespundă porțiunii liniare a curbei de magnetizare a mașinii respective, evidențiată din caracteristica $I_0 = f(U_0)$ (a se vedea 3.8).

NOTĂ – La încercările de tip, pentru mașinile la care cuplul maxim nu se poate determina direct ci se determină din diagrama cercului, pentru ca determinarea randamentului să se facă cu precizie cât mai mare, se utilizează una din metodele prescrise la punctul 3.6.2 și 3.6.3.

3.6.1 Metoda alimentării trifazate a înfășurării statorice

Pentru determinarea raportului de transformare, se aplică înfășurării statorice un sistem simetric trifazat de tensiuni, cu înfășurarea rotorică deschisă, reostatul de pornire deconectat și rotorul imobil.

Se măsoară cele trei tensiuni de linie la bornele înfășurării statorice și la inelele de contact.

Raportul de transformare k_t se determină cu relația:

$$k_t = \frac{U_s}{U_r}$$

în care:

U_s – media aritmetică a valorilor tensiunilor de fază ale înfășurării statorice, în volți;

U_r – media aritmetică a tensiunilor de fază ale înfășurării rotorice, în volți.

3.6.2 Metoda alimentării trifazate, succesiv, a înfășurării statorice și rotorice

Pentru determinarea raportului de transformare se procedează astfel:

a) se determină raportul de transformare ca la 3.6.1;

b) se aplică apoi înfășurării rotorice un sistem trifazat de tensiuni, înfășurarea statorică fiind deschisă și rotorul fiind blocat.

Se măsoară cele trei tensiuni de linie la bornele înfășurării statorice și la inelele de contact.

Raportul de transformare determinat prin metoda alimentării înfășurării statorice și rotorice este media aritmetică a valorilor determinate utilizând relația de la 3.6.1, pentru măsurările de la 3.6.2 a și 3.6.2.b.

3.6.3 Metoda alimentării unei faze a înfășurării statorice

Pentru determinarea raportului de transformare prin această metodă se procedează astfel:

a) se alimentează o singură fază (de exemplu U_1 U_2) a înfășurării statorice cu tensiune alternativă, de valoare dată, menținută constant.

b) fazele celelalte (V_1 V_2, W_1 W_2) ale statorului sunt deconectate;

c) înfășurarea rotorică este deschisă, iar rotorul este imobil;

d) se rotește ușor rotorul (manual) până când se obține valoarea cea mai mare a tensiunii electromotoare, măsurată între două inele oarecare;

e) se măsoară concomitent valoarea cea mai mare a tensiunii electromotoare U_{er} între două inele ale rotorului și tensiunile electromotoare U_{ev} și U_{ew} la bornele fazelor libere ale înfășurării statorice.

Raportul de transformare se determină cu relația:

$$k_t = \frac{\sqrt{3}\left(U_{ev} + U_{ew}\right)}{U_{er}}$$

în care:

U_{ev}, U_{ew} – tensiunea electromotoare indusă în fazele libere (V_1 V_2, W_1 W_2) ale înfășurării statorice;

U_{er} – valoarea cea mai mare, în funcție de poziția rotorului, a tensiunii electromotoare induse în două din fazele înfășurării rotorice, conectate în stea.

3.7 Verificarea sensului de rotație

Pentru verificarea sensului de rotație la un motor asincron trifazat se aplică un sistem simetric de tensiuni de succesiune directă la extremitățile sau bornele înfășurării statorice a motorului.

Marcarea extremităților sau bornelor înfășurării statorice și corelarea cu sensul de rotație este conform STAS 3530.

Se verifică corespondența dintre sensul în care se deplasează rotorul și cel impus, punctul de observare fiind stabilit conform SR EN 60034-7.

În cazul în care nu este realizată corespondența dintre sensul de deplasare a rotorului și cel impus, se modifică marcarea a două extremități ale înfășurării statorice între ele, precum și poziția lor în raport cu bornele.

3.8 Încercarea la funcționarea în gol

3.8.1 Caracteristici de funcționare în gol

La încercarea la funcționarea în gol a motorului asincron se determină caracteristicile de funcționare în acest regim în funcție de tensiunea de alimentare U_0.

$$I_0 = f(U_0)$$

$$P_0 = f(U_0)$$

$$\varphi_0 = f(U_0)$$

în care:

I_0 – curentul la funcționarea în gol, în amperi;

P_0 – puterea (pierderile) la funcționarea în gol, în wați;

cos φ_0 – factorul de putere la funcționarea în gol.

Din aceste caracteristici se determină I_0, P_0, cos φ_0 pentru tensiunea și frecvența nominale.

NOTĂ – La încercările de lot, se admite ca determinările să se facă numai la tensiunea nominală.

Din datele obținute la încercarea în gol, se pot separa pierderile la funcționarea în gol în:

- pierderi în fier p_{Fe}, în wați;
- pierderi mecanice p_m, în wați;
- pierderi în înfășurarea statorică p_{Cu0}, în wați.

3.8.2 Mod de lucru

3.8.2.1 Se conectează la rețea motorul asincron, lăsându-l să funcționeze fără sarcină la arbore pe toată durata încercării.

La motorul asincron cu rotorul bobinat, înfășurarea rotorului este scurtcircuitată la inele.

Încercarea se începe prin efectuarea unui rodaj în gol la tensiunea nominală, durata rodajului fiind conform tabelului 2.

Tabelul 2

Puterea motorului asincron trifazat kW	Durata rodajului min	
	la încercările de tip ale motoarelor cu lagăre de rostogolire	la încercările de lot ale motoarelor cu lagăre de rostogolire
Până la 1 inclusiv	10	3
De la 1 la 10 inclusiv	30	3
De la 10 la 100 inclusiv	60	3
De la 100 la 1000 inclusiv	120	30
Peste 1000	180	60

Dacă procesul de fabricație a motoarelor asincrone cu lagăr de rostogolire este mecanizat și/sau automatizat, se admite micșorarea timpului rodajului la încercările de lot astfel:

– pentru motoarele asincrone cu înălțimea axei arborelui până la 132 mm inclusiv, la 1 min (timp în care se fac măsurările în gol);

– pentru motoarele asincrone cu înălțimea axei arborelui peste 132 mm până la 250 mm inclusiv, la 3 min.

NOTĂ – La motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit cu puteri până la 11 kW, rodajul se efectuează în cadrul încercării izolației dintre spire.

3.8.2.2 După efectuarea rodajului, se mărește valoarea tensiunii de alimentare până la aproximativ 1,3 U_N.

La motoarele care au curentul de magnetizare mare, se admite ca tensiunea maximă aplicată să fie mai mică de 1,3 U_N, dar cel puțin 1,05 U_N.

Se măsoară apoi, concomitent, tensiunea aplicată, curenții de linie și puterea absorbită de la rețea.

Se procedează în mod analog pentru cel puțin zece valori descrescătoare ale tensiunii de alimentare.

NOTE

1 – Pentru încercările de tip, puterea absorbită se măsoară prin metoda celor două wattmetre, iar pentru motoare asincrone de putere mică (având curenți nominali mai mici de 5 A), prin metoda celor trei wattmetre.

2 - Pentru încercările de lot, se admite utilizarea metodei celor două wattmetre și la motoarele asincrone de putere mică (având curenți mai mici de 5 A).

În cazul în care se folosește metoda celor trei wattmetre, se recomandă ca wattmetrele pentru efectuarea acestor încercări să fie de construcție specială, pentru măsurări la factor de putere mic.

3 – Dacă pentru măsurarea curentului și puterii, la funcționarea în gol sunt necesare transformatoare de măsură, acestea trebuie să aibă clasa de precizie 0,2 sau mai bună.

3.8.2.3 Imediat după efectuarea încercării la funcționare în gol, se măsoară rezistența înfășurărilor statorice conform 3.5, pentru a determina pierderile în aceste înfășurări.

3.8.2.4 La motoarele asincrone cu mai multe turații încercarea la funcționarea în gol trebuie efectuată pentru fiecare turație nominală.

3.8.3 Prelucrarea rezultatelor măsurărilor

3.8.3.1 Tensiunea de linie, curentul și factorul de putere la funcționarea în gol

a) Tensiunea de linie aplicată înfășurării statorice la funcționarea în gol se determină ca medie aritmetică a valorilor măsurate.

b) Curentul la funcționarea în gol se determină efectuându-se media aritmetică a valorilor măsurate.

c) Factorul de putere la funcționarea în gol se determină cu relația:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\,U_0 I_0}$$

în care:

P_0 – puterea absorbită la funcționarea în gol (pierderile la funcționarea în gol), în wați;

U_0 – tensiunea de linie la funcționarea în gol, în volți;

I_0 – curentul de linie absorbit la funcționarea în gol, în amperi.

Pentru verificare, se determină factorul de putere și prin indicațiile celor două wattmetre, utilizând curbele din figura 1.

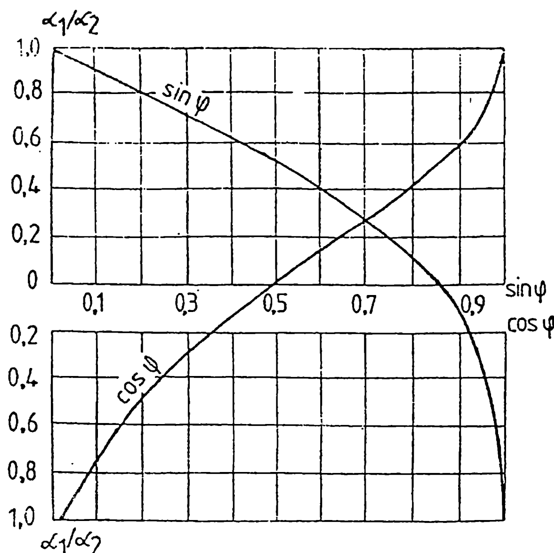


Figura 1

3.8.3.2 Pierderi la funcționare în gol

a) Pierderile în înfășurările statorice la funcționarea în gol se calculează cu relația:

$$p_{Cu0} = 3 I_{0f}^2 R_1 \quad [W]$$

în care;

I_{0f} – curentul de fază la funcționarea în gol, în amperi;

R_1 – rezistența pe fază a înfășurării statorice măsurată imediat după efectuarea încercării la funcționarea în gol, în ohmi.

Pierderile în înfășurarea rotorică la funcționarea în gol se pot neglija.

b) Pierderile în fier și pierderile mecanice se obțin din valoarea pierderilor la funcționarea în gol P_0 , din care se scad pierderile în înfășurările statorice.

c) Pentru separarea pierderilor în fier, de cele mecanice, se reprezintă suma pierderilor în fier și mecanice în funcție de pătratul tensiunii de alimentare și se extrapolează această curbă până la intersecția ei cu axa ordonatelor (figura 2). Segmentul obținut pe axa ordonatelor reprezintă pierderile mecanice ale motorului, în wați.

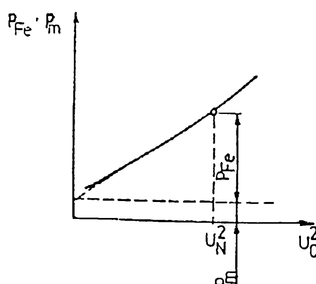


Figura 2

La separarea pierderilor mecanice de pierderile în fier, trebuie avut în vedere faptul că, la valori mici ale tensiunii de alimentare față de cea nominală, pierderile pot să crească datorită creșterii alunecării. De aceea nu trebuie luată în considerare această parte a curbei.

3.8.3.3 Pierderi la funcționarea în gol, la tensiunea nominală

Dacă, la ridicarea caracteristicilor de funcționare în gol, frecvența tensiunii de alimentare (f) diferă de frecvența nominală (f_N) cu mai mult de ± 2 %, valorile măsurate se recalculează pentru frecvența nominală astfel:

a) valoarea tensiunii de linie se recalculează cu relația:

$$U_0' = \frac{f_N}{f} U_0 \quad [V]$$

în care:

U'_0 – tensiunea de linie la funcționarea în gol, recalculată pentru frecvența nominală f_N;

U_0 – tensiunea de linie la funcționarea în gol, măsurată la frecvența f;

b) pierderile în fier se recalculează cu relația:

$$p'_{Fe} = p_{Fe}\left(\frac{f_N}{f}\right)^{1,5} \quad [W]$$

în care:

p'_{Fe} – pierderile în fier la frecvența f_N;

p_{Fe} – pierderile în fier la frecvența f.

c) pierderile mecanice se recalculează cu relația:

$$p'_m = p_m\left(\frac{f_N}{f}\right)^{2} \quad [W]$$

în care:

p'_m – pierderile mecanice la frecvența f_N;

p_m – pierderile mecanice la frecvența f.

Pierderile la funcționarea în gol (p'_0) la tensiunea nominală se determină cu relația:

$$p'_0 = p_{Cu0} + p'_{Fe} + p'_m \qquad [W]$$

3.9 Încercarea la funcționarea în scurtcircuit

3.9.1 Caracteristici de funcționare în scurtcircuit

Încercarea la funcționarea în scurtcircuit se face la frecvența nominală sau la alte valori ale acesteia, menținute constante pe durata încercării respective.

La încercarea la funcționare în scurtcircuit a motorului asincron se determină caracteristicile de scurtcircuit, în funcție de tensiunea de alimentare U_{sc}:

$$I_{sc} = f(U_{sc})$$

$$P_{sc} = f(U_{sc})$$

$$\cos\varphi_{sc} = f(U_{sc})$$

în care:

I_{sc} – curentul la scurtcircuit, în amperi;

P_{sc} – puterea (pierderile) la scurtcircuit, în wați;

$\cos \varphi_{sc}$ – factorul de putere la scurtcircuit.

Din aceste caracteristici se determină, la tensiunea nominală, curentul inițial de pornire I_p, pierderile la scurtcircuit p_p, factorul de putere la scurtcircuit $\cos \varphi_p$, cuplul inițial de pornire M_p și puterea aparentă la pornire S_p.

NOTĂ – La motoarele asincrone de puteri sub 100 kW, la încercarea la scurtcircuit se pot determina experimental cuplul inițial de pornire și curentul inițial de pornire, la tensiune nominală U_N, în care caz se procedează conform 3.9.3.3 sau 3.17.

3.9.2 Mod de lucru

Se blochează rotorul motorului asincron. La motoarele asincrone cu rotor bobinat, înfășurarea rotorică este scurtcircuitată la inele.

Se conectează înfășurarea statorică la o sursă de tensiune reglabilă. La încercarea la funcționare în scurtcircuit la frecvența nominală, pentru motoarele asincrone cu puteri până la 100 kW inclusiv, se recomandă ca tensiunea aplicată să se ridice începând de la 15 ... 20 % din cea nominală până la valoarea $U_N \pm 10$ %. Pentru cele cu o putere mai mare de 100 kW, valoarea tensiunii aplicate se alege astfel încât curentul înfășurării să fie (2,5 ... 4) I_N.

Se măsoară concomitent tensiunea aplicată, curenții de linie și puterea absorbită de la rețea. După efectuarea citirii aparatelor, înfășurarea statorică se deconectează de la rețea.

Timpul de aplicare a tensiunii până la deconectarea motorului de la rețea (timp în care se face citirea aparatelor) trebuie să fie foarte scurt, de ordinul a 10 s, pentru a evita încălzirea excesivă a înfășurărilor.

Se procedează în mod analog pentru șase sau șapte valori descărcătoare ale tensiunii de alimentare.

La încercările de lot, curentul și pierderile la funcționarea în scurtcircuit se determină numai la tensiunile indicate în tabelul 3.

Tabelul 3

Tensiunea nominală a motorului asincron V	Tensiunea de scurtcircuit V
127	33
220	58
380	100
440	115
500	130
660	173
3 000	800
6 000	1 600
10 000	2 630

Pentru tensiuni nominale diferite de cele din tabel, tensiunea de scurtcircuit la care se face încercarea se determină cu formula:

$$U_{sc} = \frac{U_N}{3,8} \quad [V]$$

Imediat după efectuarea încercării la funcționarea în scurtcircuit se determină rezistența înfășurărilor statorice conform 3.5.

În cazul în care este necesară o precizie deosebită la determinarea prin calcul a cuplului inițial de pornire, rezistența înfășurărilor statorice se măsoară după efectuarea citirilor pentru fiecare punct al încercării la scurtcircuit.

La motoarele electrice cu mai multe turații încercarea la scurtcircuit se efectuează pentru fiecare conexiune a înfășurării statorice, corespunzătoare fiecărei turații nominale.

3.9.3 Prelucrarea rezultatelor măsurărilor

3.9.3.1 Tensiunea, curentul și factorul de putere la scurtcircuit

a) Tensiunea de linie aplicată înfășurării statorice la încercarea la scurtcircuit se determină ca medie aritmetică a valorilor măsurate.

b) Curentul la scurtcircuit se determină efectuându-se media aritmetică a valorilor măsurate.

c) Factorul de putere la scurtcircuit se determină cu relația:

$$\cos\varphi_{sc} = \frac{P_{sc}}{\sqrt{3}\ U_{sc}\ I_{sc}}$$

în care:

P_{sc} – puterea absorbită la scurtcircuit, în wați;

U_{sc} – tensiunea de linie aplicată înfășurării statorice la încercarea la scurtcircuit, în volți;

I_{sc} – curentul de linie la scurtcircuit, în amperi,

Pentru verificare se determină factorul de putere prin indicațiile celor două wattmetre, conform 3.8.3, figura 1.

3.9.3.2 Pierderi la scurtcircuit

Pierderile Joule la scurtcircuit în înfășurările statorice de determină cu relația:

$$p_{Cu1sc} = 3\,I_{sc}^2\,R_{sc} \qquad [W]$$

în care:

I_{sc} – curentul pe fază la scurtcircuit, în amperi;

R_{sc} – rezistența pe fază a înfășurării statorice, măsurată imediat după încercarea la scurtcircuit, în ohmi.

Pierderile la scurtcircuit în rotorul motorului asincron se determină cu relația:

$$p_{Msc} = P_{sc} - p_{Cu1sc} - p_{Fe1} - p_{s1} \qquad [W]$$

în care;

P_{sc} – puterea absorbită la scurtcircuit, în wați;

$p_{Cu1\,sc}$ – pierderile la scurtcircuit în înfășurarea statorică, în wați;

p_{Fe1} – pierderile în fier, în wați, determinate din caracteristica de funcționare în gol $P_0 = f\left(U_0\right)$ la o tensiune egală cu cea a punctului considerat la încercarea la scurtcircuit;

p_{s1} – pierderile suplimentare din înfășurarea statorului, în wați.

3.9.3.3 Cuplu inițial de pornire

a) Metoda puterii electromagnetice la scurtcircuit

Cuplul inițial de pornire M'_p se determină cu relația:

$$M'_p = k_M \cdot 9{,}56 \frac{p_{Msc}}{n_0} \qquad [\text{Nm}]$$

în care:

$k_M = 0{,}9$ – coeficient care ia în considerare armonicile superioare;

n_0 – turația sincronă, în rotații pe minut;

p_{Msc} – pierderile la scurtcircuit în rotor, în wați.

b) Metoda brațului de pârghie

Pe o semicuplă, fixată pe capul de ax al motorului, se montează o bară dublă, simetrică în raport cu axa mașinii. Un capăt al barei apasă pe un cântar obișnuit. Lungimea dintre axa mașinii și punctul de aplicare al forței este riguros determinată.

Cuplul de pornire se determină folosind relația:

$$M'_p = l \cdot F \qquad [\text{Nm}]$$

în care:

l – lungimea brațului de pârghie, în metri;

F – forța la capătul barei, în newtoni.

Măsurarea forței se face concomitent cu celelalte măsurări, în cadrul încercării la funcționarea în regim de scurtcircuit.

Pentru creșterea preciziei măsurării, pe platanul cântarului se poate plasa un cric hidraulic pe care să apese brațul de pârghie. Pentru fiecare punct al caracteristicii de scurtcircuit se aduce pârghia pe reperul zero cu ajutorul cricului și apoi se fac măsurări.

3.9.3.4 Curent, pierderi, factor de putere și cuplu inițial de pornire la tensiunea nominală

Pentru determinarea curentului și cuplului inițial de pornire corespunzător tensiunii nominale, în cazul motoarelor asincroane la care încercarea la scurtcircuit nu se face la tensiunea nominală, se introduce o corecție care ține seama de saturația porțiunilor feromagnetice din circuitul fluxurilor de dispersie.

Pentru aceasta se duce tangenta la curba $I_{sc} = f(U_{sc})$ (a se vedea figura 3). Această tangentă intersectează axa absciselor în punctul U'_{sc}.

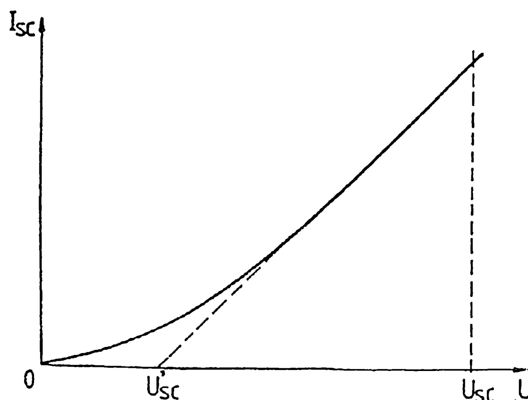


Figura 3

Curentul la scurtcircuit la tensiunea nominală (curentul inițial de pornire) I_p se determină cu relația:

$$I_p = \frac{U_N - U'_{sc}}{U_{sc} - U'_{sc}} I_{sc} \quad [A]$$

în care:

I_{sc} și U_{sc} – valorile cele mai mari ale curentului (în amperi) și tensiunii (în volți) măsurate în timpul încercării la scurtcircuit;

U_N – tensiunea nominală (în volți).

Pierderile la scurtcircuit la tensiunea nominală se calculează cu relația:

$$p_p = P_{sc} \left(\frac{I_p}{I_{sc}} \right)^2 \quad [W]$$

în care:

I_{sc}, P_{sc} – valorile cele mai mari ale curentului (în amperi) și pierderile la scurtcircuit (în wați) măsurate în timpul încercării la scurtcircuit.

Factorul de putere la scurtcircuit, la tensiunea nominală, se calculează cu relația:

$$\cos\varphi_p = \frac{P_p}{\sqrt{3}\, U_N\, I_p}$$

în care U_N și I_p au semnificația de mai sus.

Cuplul inițial de pornire M_p corespunzător tensiunii nominale se determină cu relația:

$$M_p = \left(\frac{I_p}{I_{sc}}\right)^2 M'_p \qquad [\text{Nm}]$$

în care:

M'_p – cuplul inițial de pornire calculat pentru cea mai mare valoare a curentului I_{sc} la care s-a făcut încercarea la scurtcircuit.

Puterea aparentă la pornire este;

$$S_p = \sqrt{3}\, U_N\, I_p \qquad [\text{VA}]$$

în care U_N și I_p au semnificația de mai sus.

3.9.3.5 Determinarea parametrilor schemei echivalente corespunzătoare regimului de funcționare la scurtcircuit

a) Parametrii schemei echivalente pentru frecvența nominală.

$$Z_{scN} = \frac{U_{scfN}}{I_{scfN}} \qquad [\Omega]$$

$$R_{scN} = \frac{P_{scN}}{3\left(I_{scfN}\right)^2} \qquad [\Omega]$$

$$X_{scN} = \sqrt{Z_{scN}^2 - R_{scN}^2} \qquad [\Omega]$$

în care:

I_{scfN} – curentul nominal pe fază, în amperi;

U_{scfN} – tensiunea nominală de scurtcircuit pe fază, pentru $f = f_N$, în volți.

P_{scN} – puterea la scurtcircuit corespunzătoare curentului nominal, pentru $f = f_N$, în wați.

$Z_{scN}, R_{scN}, X_{scN}$ – impedanța, rezistența, respectiv reactanța la scurtcircuit pentru $f = f_N$.

b) Parametrii schemei echivalente pentru frecvența $f = \frac{f_N}{2}$

Încercarea la scurtcircuit la $\frac{f_N}{2}$ se desfășoară conform 3.9.2 la un curent egal cu cel nominal al mașinii.

Parametrii schemei echivalente se determină cu aceleași relații ca la punctul a) și se notează cu prim (') obținându-se rezistența R'_{scN}, reactanța X'_{scN} și impedanța Z'_{scN}.

c) Parametrii schemei echivalente și mărimile corespunzătoare regimului de funcționare la scurtcircuit pentru $f = \frac{f_N}{10}$

Se determină rapoartele $\frac{X_{scN}}{f_N}$ și $\frac{X'_{scN}}{f_N/2}$ și, împreună cu rezistențele R_{scN} și R'_{scN} se reprezintă în funcție de frecvență (figura 4), din care, pentru abscisa $f_N/10$ se determină $\frac{X''_{scN}}{f_N/10}$ și R''_{scN}.

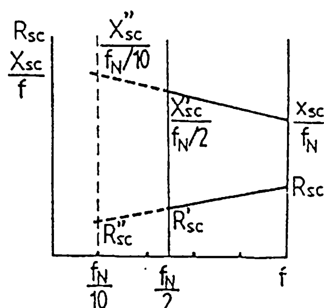


Figura 4

Cu aceste mărimi se calculează valoarea rezistenței de scurtcircuit R''_{sc} pentru temperatura clasei termice de izolație a mașinii și reactanța la scurtcircuit pentru frecvența $f_N/10$.

Rezultă:

$$R''_{scN}(\theta_N) = \frac{235 + \theta_N}{235 + \theta_{sc}} R''_{sc} \qquad [\Omega]$$

$$X''_{sc} = \frac{X''_{sc}}{f_n/10} \cdot \frac{f_N}{10} \qquad [\Omega]$$

Se calculează:

$$Z''_{scN} = \sqrt{\left(R''_{scN}(\theta_N)\right)^2 + \left(X''_{scN}\right)^2} \qquad [\Omega]$$

$$U''_{scN} = Z''_{scN} \cdot I_{1N} \qquad [V]$$

$$P''_{scN} = 3 \cdot R''_{scN}(\theta_N) \cdot I_{1N}^2 \qquad [W]$$

unde I_{1N} este valoarea nominală a curentului de fază.

3.10 Determinarea pierderilor suplimentare

3.10.1 Pierderile suplimentare se clasifică în pierderi suplimentare la funcționarea în gol p_{s0} și pierderi suplimentare la funcționarea în sarcină p_s. Pentru încercările obișnuite, primele sunt conținute în pierderile din fier, determinate din încercarea la funcționare în gol.

Pierderile suplimentare în sarcină reprezintă suma dintre pierderile suplimentare de frecvență fundamentală p_{s1} și pierderile suplimentare de frecvențe ridicate, p_{so}, p_{sv}, datorate armonicilor superioare ale inducției și solenației.

3.10.2 Pierderile suplimentare la funcționarea în gol se determină folosind, ca mașină tarată, un motor sincron.

Mașina de antrenare trebuie să aibă o putere cel puțin egală cu cea a mașinii de încercat, astfel încât componenta activă a curentului, corespunzătoare pierderilor din mașina de încercat, să reprezinte cel mult (7...8) % din curentul nominal al mașinii de antrenare.

La mașina de antrenare, întrucât lucrează în regim supraexcitat, creșterea curentului din înfășurarea indusului, datorită componentei active corespunzătoare pierderile din mașina de încercat, este de neglijat. Pierderile în cupru, pierderile suplimentare și pierderile în fierul mașinii de antrenare, alimentată la tensiune constantă și frecvență nominală, rămân practic constante, chiar la variații ale puterii la arbore datorită pierderilor din mașina încercată.

Puterea absorbită de mașina de antrenare se măsoară obligatoriu cu wattmetre de $\cos\varphi = 0{,}1$ sau mai mic. Înfășurarea de excitație a mașinii de antrenare se alimentează de la o sursă de tensiune separată.

Încercările se desfășoară în trei etape:

a) Motorul de încercat, cuplat mecanic cu mașina de antrenare, este conectat la aceeași rețea cu aceasta. Mașina de antrenare, adusă în regimul specificat mai sus, furnizează motorului asincron o putere egală cu pierderile suplimentare p_{Ms} din rotor și pierderile mecanice p_{Mm} ale acestuia.

Se măsoară puterea P_{M1} primită de la rețea de motorul asincron (egală cu pierderile în fier p_{MFe} și pierderile Joule în înfășurarea statorului p_{MJo}) și puterea absorbită de mașina sincronă P_{S1} (egală cu pierderile acesteia Σp_{S1} și pierderile mecanice și suplimentare din rotor ale motorului asincron).

b) Mașina sincronă funcționează în regimul și la parametrii de la punctul a) și antrenează mașina de încercat, deconectată de la rețea. Se măsoară puterea P_{S2} primită de la rețea de mașina sincronă. Puterea primită la arbore de motor de la mașina de antrenare este egală cu pierderile mecanice p_{Mm} ale mașinii de încercat.

c) Mașina de antrenare funcționează în regimul și la parametrii de la punctul a), decuplată de mașina de încercat. Se măsoară puterea P_{S3} absorbită de mașina de antrenare de la rețea.

– Pierderile principale în fier p_{MFe} din dinții și jugul motorului asincron se obțin scăzând din puterea P_{M1}, primită de acesta de la rețea în regimul de la punctul a), pierderile Joule p_{MJo} din înfășurarea acestuia;

– Pierderile mecanice ale motorului asincron se obțin scăzând din puterea P_{S2}, primită de la rețea de mașina sincronă în regimul b), puterea P_{S3}, primită de aceasta în încercarea de la punctul c);

– Pierderile suplimentare din rotor ale motorului asincron se obțin scăzând din puterea P_{S1}, primită de mașina sincronă de la rețea în încercarea de la punctul a), puterea P_{S2}, primită de aceasta în încercarea de la punctul b).

Întrucât componentele pierderilor mașinii de încercat se obțin prin scăderea unor puteri iar curentul și tensiunea în aceste regimuri rămân practic constante ca valoare, diferențele nu sunt afectate de erorile de unghi și de raport ale transformatoarelor de măsură.
Pentru ca erorile să fie minime, regimul termic al mașinii de antrenare trebuie să fie ales corespunzător.

3.10.3 Pierderile suplimentare în sarcină la motoarele cu $\eta \leq 0,85$ se determină cu metoda încărcării directe. Pierderile suplimentare ale motoarelor cu randamentul $\eta \geq 0,85$ se determină cu metoda încărcării în opoziție, utilizând mașina asincronă trifazată cu rotor bobinat, cu alimentare dublă.

3.10.3.1 Pentru determinarea pierderilor suplimentare prin metoda încărcării directe, se măsoară rezistenta înfășurării statorului pentru fiecare curent. Această încercare se face concomitent cu încercarea pentru ridicarea caracteristicilor de funcționare. Pierderile suplimentare se determină cu formula:

$$p_s = P_1 - P_2 - \left(p_{Cu1} + p_{Cu2} + p_{Fe} + p_m\right) \qquad [W]$$

în care:

P_1 – puterea absorbită, în wați;

P_2 – puterea utilă, în wați;

p_{Cu1} – pierderile în înfășurarea statorului, calculate cu valoarea măsurată a curentului și rezistența înfășurării statorului, în wați;

p_{Cu2} – pierderile în înfășurarea rotorului calculate cu alunecarea măsurată, în wați;

p_{Fe} – pierderile în fier determinate la încercarea la funcționare în gol, în wați;

p_m – pierderile mecanice determinate la încercarea la funcționare în gol, în wați.

Aceste pierderi se reprezintă în funcție de pătratul cuplului (figura 5).

Cu metoda celor mai mici pătrate se găsește o dreaptă care intersectează pe axa oronatelor un segment. Dreapta paralelă cu ea însăși prin originea axelor de coordonate reprezintă dependența pierderilor suplimentare de pătratul cuplului.

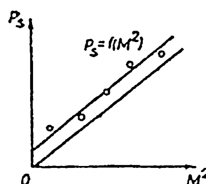


Figura 5

3.10.3.2 Pentru determinarea pierderilor suplimentare prin metoda încărcării în opoziție a motorului încercat, acesta se cuplează mecanic cu un motor cu rotor bobinat tarat. Ambele motoare se alimentează în paralel de la o singură sursă. Cu ajutorul unei surse variabile de joasă frecvență se alimentează rotorul bobinat și se încarcă la sarcina dorită, la un factor de putere general apropiat de 1. Se măsoară puterea totală, curenții statoarelor celor două mașini, rezistența înfășurărilor statoarelor și alunecarea. Experiența se realizează la aceleași valori ca și încercarea de ridicare a caracteristicilor de sarcină. Pierderile suplimentare în sarcină se determină cu formula:

$$p_{s1} = P_1 - p_{Cu1.1.2} - p_{Cu2.1} - p_{st} - p_0 \quad [W]$$

în care:

P_1 – puterea absorbită de la rețea;

$p_{Cu.1.1.2}$ – suma pierderilor în cuprul înfășurării statoarelor celor două mașini și în cablurile de legătură;

$p_{Cu.2.1}$ – pierderile în înfășurarea rotorului mașinii de încercat;

p_{st} – pierderile suplimentare în motorul tarat;

p_0 – suma pierderilor în fier și mecanice ale celor două motoare.

Pierderile suplimentare în motorul tarat cu rotor bobinat pot fi determinate prin încercarea, cu metoda dată, a două mașini identice cu rotor bobinat, în regim asincron sau sincron.

3.10.4 Pierderile suplimentare Joule din înfășurarea statorului motorului asincron

Este cunoscut că în conductoarele înfășurărilor dispuse în crestături feromagnetice, parcurse de curent alternativ, fluxul magnetic de scăpări din crestături determină o redistribuire a curentului electric în secțiunea transversală a conductorului.

Ca urmare secțiunea activă a conductorului este diminuată, rezultând o creștere a rezistenței electrice care determină o mărire a pierderilor prin efect Joule comparativ cu situația în care conductorul este parcurs de curent continuu.

Diferența dintre valoarea pierderilor Joule, determinate de curentul alternativ și pierderile Joule determinate, în aceeași înfășurare, de curentul continuu, de valoare egală cu valoarea eficace a curentului alternativ considerat, reprezintă pierderile suplimentare Joule.

Metoda prevede ca rotorul motorului asincron să fie scos.

Pe tronsoanele feromagnetice ale statorului (dinți, jug) se montează spire sondă conform SR 13377. Se alimentează înfășurarea statorului cu un sistem simetric de tensiuni, reglabile în modul.

Pentru valori ale curentului de fază, cuprinse între $(0,5...1,25)I_{1N}$ se măsoară:

- valoarea tensiunii aplicate;
- valoarea curentului absorbit;
- valoarea puterii absorbite.

Prin analiză armonică conform SR 13377 se determină spectrul și amplitudinea armonicilor conținute în tensiunile electromotoare induse în spirele sondă.

Cu aceste valori se determină pierderile în fier din dinții și jugul statorului conform SR 13377.

După măsurările efectuate pentru fiecare punct se determină prin metoda voltmetru-ampermetru rezistența ohmică pe fază.

Pierderile suplimentare Joule din înfășurarea statorului se determină cu expresia

$$p_{sJ} = P_1 - 3\,R_{1f}\,I_{1f}^2 - p_{Fe} \qquad [W]$$

în care:

P_1 – puterea absorbită, în wați;

R_{1f} – rezistența pe fază în curent continuu, în ohmi;

p_{Fe} – pierderile în fier, în wați, din dinții și jugul statorului, determinate conform SR 13377-97.

Se reprezintă grafic funcția $p_{sJ} = f\,(I_{1f}^2)$ și, pentru valoarea nominală I_{1fN} a curentului de fază, se determină valoarea corespunzătoare a pierderilor suplimentare Joule.

3.11 Încercarea la suprasarcină de cuplu

Încercarea se execută la determinarea raportului dintre cuplul maxim și cel nominal conform 3.16.

3.12 Încercarea la supraturație

Conform STAS 9904/5 cu următoarele precizări:

a) Încercarea la supraturație se realizează în regim de funcționare în gol.

b) Motorul asincron cu rotorul bobinat poate fi adus la supraturație și prin alimentarea înfășurării statorice la tensiune și frecvență nominale, iar a înfășurării rotorice la o tensiune de frecvență mică.

c) Pentru măsurarea turației se pot utiliza și frecvențmetre de vibrații așezate pe placa pe care se încearcă motorul sau frecvențmetre în circuitul de alimentare.

3.13 Încercare la încălzire

Conform STAS 9904/4 cu următoarele precizări:

3.13.1 La mașinile cu mai multe turații încercarea de încălzire se efectuează pentru fiecare turație nominală.

3.13.2 Încălzirea mașinii se realizează prin încărcare directă, cu disiparea energiei sau cu recuperarea acesteia prin metode de opoziție, la tensiune și frecvență nominale, sau prin metode indirecte.

Se admite ca încercarea la încălzire să se efectueze la un curent diferit până la ± 5 % din cel nominal și deci la o putere utilă puțin diferită de cea nominală.

În acest caz supratemperatura înfășurării la puterea nominală este:

$$\Delta\theta = \left(\frac{I_N}{I}\right)^2 \Delta\theta \qquad [K]$$

în care:

I_N – curentul nominal al mașinii, în amperi;

I – curentul la care s-a efectuat încercarea, în amperi;

$\Delta\theta$ – suprstemperatura înfășurării corespunzătoare curentului I.

NOTĂ – În timpul încercării la încălzire, abaterile de la tensiunea nominală sunt cele admise în STAS 1893/1.

3.13.3 La stabilirea valorii temperaturii fluidului de răcire, dacă mașina este prevăzută cu circuite de răcire separate folosind parțial aerul înconjurător și parțial aerul din subsolul camerei unde ea este instalată, se face o medie ponderată între temperatura camerei și aceea a subsolului, proporția afectată fiecăreia din aceste temperaturi fiind corespunzătoare pierderilor produse în părțile din înfășurări situate în mediul respectiv. Pentru evitarea calculului temperaturii de referință la mașinile în construcție îngropată, respectiv pentru evitarea diferenței de temperatură între mediul înconjurător al mașinii și subsolul camerei în care ea este montată, se admite ca temperatura camerei să fie adusă, în mod artificial, la temperatura mediului înconjurător mașinii.

3.13.4 Pentru determinarea supratemperaturii $\Delta\theta$, cu excepția înfășurărilor permanent scurtcircuitate (colivii etc.), metoda utilizată, în general, este cea a variației rezistenței cu temperatura.

Pentru determinarea supratemperaturii înfășurărilor permanent scurtcircuitate se utilizează metoda termometrului sau metoda indicatoarelor de temperatură.

3.13.5 Metode indirecte de încărcare pentru determinarea supratemperaturii

3.13.5.1 Determinarea încălzirii înfășurării și fierului statorului motorului asincron prin metoda indirectă a încărcării la tensiunea nominală și curent scăzut

Se realizează două regimuri de încălzire, până la stabilizarea termică a mașinii: un regim la curentul I_{10} și un regim la curentul I_{11}, determinat de relația (1). La ambele regimuri menționate valoarea tensiunii de alimentare a motorului este egală cu cea nominală.

Valoarea curentului înfășurării statorului, la care se face cea de a doua încercare de încălzire, este dată de relația:

$$I_{11} \geq \sqrt{\frac{I_{10}^2 + I_{1N}^2}{2}} \quad [A] \quad (1)$$

în care:

I_{10} – curentul de linie la funcționarea în gol la tensiunea nominală;

I_{1N} – curentul de linie, nominal, al înfășurării statorului.

Pentru fiecare din aceste două regimuri se determină supratemperatura înfășurării statorului $\left(\Delta\theta_{1,i}\right)$ și a miezului statorului $\left(\Delta\theta_{Fe1,1}\right)$, precum și pierderile din înfășurarea statorului cu expresia:

$$p_{Cu1,i} = 1{,}5\, I_{1,i}^2\, R_{1,i} \quad [W] \quad (2)$$

în care:

i – 0 sau 1;

$R_{1,i}$ – valoarea rezistenței dintre două borne de linie ale înfășurării statorului, determinată pentru fiecare din cele două încercări de încălzire.

Se admite că supratemperatura, în Kelvin, a înfășurării statorului variază liniar cu pierderile din această înfășurare conform relației:

$$\Delta\theta_{1i} = \Delta\theta'_0 + k \cdot p_{Cu1i} \quad [K] \qquad (3)$$

în care:

$$k = \frac{\Delta\theta_{11} - \Delta\theta_{10}}{p_{Cu11} - p_{Cu10}} \quad [K/W] \qquad (4)$$

în care:

$\Delta\theta_{10}$ – supratemperatura înfășurării statorului corespunzătoare regimului de funcționare în gol, la curentul I_{10}, în Kelvin;

p_{Cu10} – pierderile din înfășurarea statorului la încercarea de încălzire corespunzătoare funcționării în gol, la curentul I_{10}, în regim termic stabilizat, în wați;

$\Delta\theta_{11}$ – supratemperatura înfășurării statorului corespunzătoare regimului de funcționare în sarcină la curentul redus I_{11}, în Kelvin;

p_{Cu11} – pierderile din înfășurarea statorului la încercarea de încălzire corespunzătoare funcționării în sarcină, la curentul redus I_{11}, în wați.

Supratemperatura înfășurării statorului corespunzătoare regimului de funcționare în sarcină la curentul nominal se determină folosind relația:

$$\Delta\theta_{1N} = \frac{\Delta\theta'_0 + k \cdot p_{Cu1N}(\theta_a)}{1 - \dfrac{k \cdot p_{Cu1N}(\theta_a)}{235 + \theta_a}} \quad [K] \qquad (6)$$

în care:

p_{Cu1N} – pierderile în înfășurarea statorului (2) corespunzătoare curentului nominal, la temperatura θ_a, în starea rece a mașinii la care s-a măsurat rezistența R_1, în wați;

Supratemperatura fierului statorului corespunzătoare curentului nominal se determină folosind relațiile (3)...(5), în care se introduc valorile supratemperaturilor fierului, determinate în regimurile folosite.

3.13.5.2 Determinarea supratemperaturii înfășurării și fierului statorului motorului asincron prin metoda indirectă a încărcării la curent nominal și tensiune scăzută

Se realizează încălzirea motorului până la stabilizarea sa termică, în trei regimuri și anume:

m – regim de funcționare în sarcină la curent egal cu cel nominal și tensiune scăzută astfel încât alunecarea să fie mai mică decât cea critică, rezultând $\Delta\theta_m$;

n – regim de funcționare în gol și tensiune scăzută, egală ca valoare cu cea de la regimul *m*, rezultând $\Delta\theta_n$;

o – regim de funcționare în gol ca motor la tensiunea nominală, rezultând $\Delta\theta_0$.

Cu o relaţie de forma (2) (în care $i = m, n, o$) se determină pierderile Joule din înfăşurarea statorului, în regimurile m, n, o.

Se determină coeficientul

$$k = \frac{\Delta\theta_m - \Delta\theta_n}{p_{Cu1m} - p_{Cu1n}} \qquad [K/W]$$

şi supratemperatura

$$\Delta\theta_{1p} = \Delta\theta_{10} - k \cdot p_{10} \qquad [K]$$

Supratemperatura înfăşurării statorului se calculează cu relaţia:

$$\Delta\theta_1^{\cdot} = \Delta\theta_{1p} + k \cdot p_{1m} \qquad [K]$$

3.13.5.3 Determinarea supratemperaturii subansamblelor motorului asincron prin metoda indirectă a celor două frecvenţe

Motorul se alimentează de la o sursă cu frecvenţă egală cu cea nominală a motorului şi tensiunea apropiată de cea nominală a acestuia, înseriată cu o sursă suplimentară a cărei frecvenţă este cu circa 5 Hz mai mică şi cu tensiunea care să asigure curentul nominal al motorului de încercat (a se vedea figura 6). Metoda celor două frecvenţe nu impune existenţa unui cuplu activ sau rezistent la arborele maşinii de încercat, aceasta funcţionând în gol.

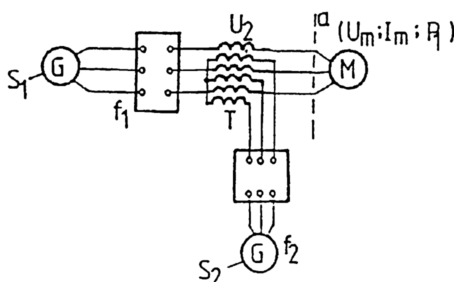


Figura 6

Se recomandă pornirea motorului de la sursa principa S_1 stabilindu-se tensiunea acesteia la o valoare apropiată de tensiunea nominală a motorului de încercat, sursa S_2 fiind antrenată la turaţia nominală şi neexcitată.

Se stabileşte frecvenţa tensiunii suplimentare S_2 la o valoare în jurul a 0,9 din frecvenţa nominală a motorului încercat şi se creşte progresiv tensiunea sa până la valoarea care asigură curentul impus pentru motor, reglând corespunzător şi frecvenţa tensiunii sale. Tensiunea U_2 furnizată de sursa suplimentară S_2, necesară asigurării curentului nominal al motorului, reprezintă 0,1...0,3 din tensiunea U_{1N} a motorului încercat.

Sensul succesiunii fazelor sursei suplimentare S_2 trebuie să fie acelaşi cu cel al sursei principale S_1.

Se recomandă ca metoda celor două frecvențe să fie aplicată la mașinile în construcție orizontală sau verticală, de putere mare, care depășesc posibilitățile de încercare ale sistemului prin metoda directă.

Se recomandă ca după efectuarea încercării de încălzire prin metoda celor două frecvențe să se măsoare vibrațiile mașinii încercate.

3.13.5.4 Determinarea supratemperaturii subansamblelor motorului asincron prin metoda indirectă a funcționării în regim de generator asincron $f = 0,8\ f_N$

Principiul metodei constă în stabilirea unui regim de funcționare pentru mașina ce se încearcă astfel încât condițiile de ventilație să fie practic identice cu cele corespunzătoare serviciului nominal tip *S*1, iar în circuitele electrice și în cele magnetice nivelul pierderilor să fie cât mai apropiat posibil de cel nominal.

Conform metodei se stabilesc în circuitele electrice valori ale curenților practic egale cu cele corespunzătoare valorilor nominale.

Echipamentele utilizate sunt de putere și de complexitate reduse, iar puterea vehiculată în sistem are valoarea aproximativ (10...15) % din cea nominală.

Metoda permite încercarea mașinilor de puteri mari cu turații nominale mari, într-o gamă largă de frecvențe.

Metoda prevede trei încercări de încălzire:

m) încălzire în regim de generator asincron, rotorul antrenat la turația de sincronism, $n = n_1$, și înfășurarea statorului alimentată cu un sistem simetric de tensiuni, cu frecvența $f = 0,8\ f_N$ și cu valoarea redusă U_{1G} care stabilește valoarea nominală a curentului în înfășurarea statorului, obținându-se supratemperatura $\Delta\theta_{1m}$ (a se vedea figura 7);

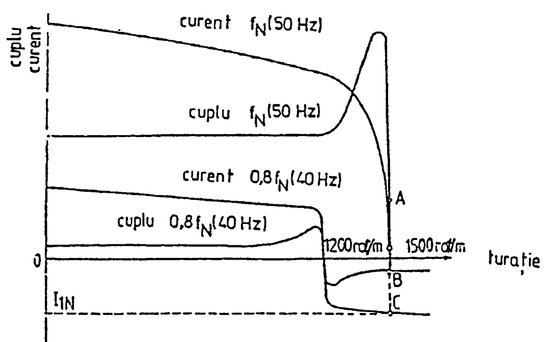


Figura 7

n) încălzire în regim de motor în gol la $U_{10} = U_{1G}$, $f = f_N$, $P_2 = 0$, obținându-se supratemperatura $\Delta\theta_{1n}$;

o) încălzire în regim de funcționare ca motor în gol, la $U_{10} = U_{1N}$, $f = f_N$, $P_2 = 0$, obținându-se supratemperatura $\Delta\theta_{10}$.

La funcționarea ca generator asincron supratemperatura $\Delta\theta_{1m}$ a înfășurării statorului este determinată de:

- pierderile Joule din înfășurarea statorului care sunt practic egale cu cele din serviciul nominal tip *S*1;
- pierderile de ventilație și de frecări care sunt egale cu cele din serviciul nominal tip *S*1;
- pierderile principale din fierul statorului care sunt mult mai mici decât cele din serviciul nominal tip *S*1;
- pierderile Joule din înfășurarea rotorului care sunt mai mari decât cele din serviciul nominal tip *S*1;
- pierderile suplimentare din dinții statorului determinate de armonicile solenației rotorului care sunt practic mai mari decât cele din serviciul nominal tip *S*1;
- pierderile în fier din dinții rotorului.

La funcționarea ca motor în gol la $U_{10} = U_{1G}$, $f = f_N$, $P_2 = 0$, supratemperatura $\Delta\theta_{1n}$ a înfășurării statorului este determinată de:

- pierderile în fier corespunzătoare valorii reduse a tensiunii;
- pierderile Joule din înfășurarea statorului corespunzătoare curentului I_0;
- pierderile nominale de frecări și ventilație.

La funcționarea ca motor în gol la $U_1 = U_N$, supratemperatura înfășurării statorului este determinată de:

- pierderile în fier corespunzătoare valorii nominale a tensiunii;
- pierderile Joule din înfășurarea statorului corespunzătoare curentului I_{10N};
- pierderile nominale de frecări și ventilație.

La motoarele asincrone care au $p = 1$ se realizează încercarea de încălzire *n*) în regim de funcționare ca motor în gol ideal, $U_{10} = U_{1G}$, $f = f_N$, $n = n_1$.

Se adoptă acest regim pentru a evita influența creșterii curentului de funcționare în gol la tensiunea redusă U_{1G} asupra încălzirii înfășurării statorului.

La motoarele cu circuit de ventilație închis se adoptă pentru înfășurarea statorului valoarea supratemperaturii obținute la încercarea ca generator asincron *m*) ca valoare a supratemperaturii corespunzătoare serviciului nominal tip *S*1:

La motoarele cu circuit de ventilație închis pe un schimbător de căldură sau cu circuit de ventilație deschis supratemperatura înfășurării statorului corespunzătoare serviciului nominal tip *S*1 este dată de relația:

$$\Delta\theta_1 = \Delta\theta_{1m} + \Delta\theta_{10} - \Delta\theta_{1n} \quad . \text{[K]}$$

Se ia în considerare efectul pierderilor în fier corespunzătoare tensiunii nominale asupra încălzirii înfășurării statorului.

3.14 Determinarea caracteristicilor de funcționare în sarcină

3.14.1 Caracteristici de funcționare în sarcină

Se stabilește modul de determinare a următoarelor caracteristici de funcționare ale motoarelor asincrone, în funcție de puterea utilă P_2 , la tensiunea și frecvența nominale:

$$I_1 = f(P_2);$$

$$P_1 = f(P_2);$$

$$\cos\varphi = f(P_2);$$

$$a = f(P_2);$$

$$\eta = f(P_2)$$

în care:

I_1 – curentul de linie absorbit, în amperi;

P_1 – puterea absorbită, în wați;

$\cos\varphi$ – factorul de putere;

a – alunecarea;

η – randamentul.

Din caracteristicile de funcționare ale motorului asincron se determină valorile randamentului, factorului de putere și alunecării la puterea utilă nominală, verificându-se corespondența ce cele garantate de producător.

Caracteristicile funcționale în sarcină ale motoarelor asincrone se determină prin încărcare directă.

Dacă nu se pot determina caracteristicile de funcționare la tensiunea nominală, se recomandă să se realizeze încercarea la tensiune redusă, conform 3.14.3.

La motoarele asincrone cu putere peste 500 kW se admite ca, în cazul în care nu se dispune de utilaj corespunzător, aceste caracteristici să fie determinate cu ajutorul diagramei cercului, conform 3.15.

3.14.2 Determinarea caracteristicilor de funcționare prin încărcare directă la tensiunea nominală

3.14.2.1 Mod de lucru

Ridicarea caracteristicilor de funcționare prin încărcare directă se face la câteva valori ale puterii utile cuprinse între (1,25...0,25) P_{2N} , la regim termic al motorului cât mai apropiat de cel corespunzător funcționării în serviciul nominal.

La motoarele asincrone cu mai multe turații caracteristicile se ridică pentru fiecare turație nominală în parte, începând de la sarcini mai mari către sarcini mai mici.

La ridicarea caracteristicilor de funcționare se măsoară următoarele mărimi: tensiunea de linie, frecvența tensiunii de alimentare, curenții de linie, puterea absorbită și alunecarea.

În cazul în care încărcarea motorului se face cu o mașină dinamometru sau prin intermediul unei cuple torsiometrice, în timpul ridicării caracteristicilor de funcționare se măsoară și cuplul la arbore.

Alunecarea motorului asincron poate fi determinată în mai multe feluri, după cum urmează:

- prin metoda stroboscopică, în care o lampă cu descărcări în gaze este conectată la rețeaua de alimentare a motorului încercat;
- cu ajutorul unei bobine așezate în câmpul de dispersie al rotorului, la bornele sale fiind montat un aparat magnetoelectric adecvat;
- cu aparate magnetoelectrice în circuitul înfășurării rotorice (pentru motoare asincrone cu inele de contact);
- cu aparate pentru măsurarea alunecării;
- cu aparate pentru măsurarea frecvenței de rotație, bazate pe folosirea traductoarelor cu număr mare de impulsuri pe o tură.

Se admite folosirea aparatelor destinate măsurării frecvenței de rotație, dacă acestea asigură determinarea alunecării cu o eroare relativă mai mică de 5 %.

La măsurarea alunecărilor mari se utilizează fie aparate pentru măsurarea alunecării, fie metoda stroboscopică. În cazul utilizării metodei stroboscopice, i se aplică lămpii o tensiune a cărei frecvență este mai mică decât frecvența tensiunii de alimentare a motorului încercat, diferind de aceasta cu o valoare bine determinată.

La folosirea aparatelor pentru determinarea alunecării, acestea nu trebuie să creeze la arbore o sarcină suplimentară mai mare de 1 % din puterea utilă.

3.14.2.2 Prelucrarea rezultatelor măsurărilor

a) Curentul de linie absorbit se determină efectuându-se media aritmetică a valorilor măsurate pe fiecare fază.

b) Factorul de putere se determină cu relația:

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3}\, U_1 I_1}$$

în care:

U_1 – tensiunea de linie aplicată înfășurării statorice, care trebuie să fie egală cu cea nominală, în volți;

I_1 – curentul de linie absorbit, în amperi;

P_1 – puterea absorbită, în wați.

Pentru verificare, se determină factorul de putere și din indicațiile celor două wattmetre, conform 3.8 și figurii1.

c) Randamentul motoarelor asincrone se determină prin metoda pierderilor separate. La motoarele la care randamentul este mai mic sau egal cu 0,85, poate fi determinat prin metode directe.

d) Pentru fiecare valoare a puterii absorbite la care s-au făcut măsurări, se reprezintă grafic, în funcție de puterea utilă (P_2), următoarele mărimi: curentul de linie absorbit (I_1), alunecarea (a), randamentul (η), factorul de putere $(\cos\varphi)$ și puterea absorbită (P_1), trasându-se astfel caracteristicile de funcționare în sarcină.

NOTĂ – Pe diagramă se reprezintă, dacă este necesar, și punctul de funcționare în gol, determinat conform 3.8.

3.14.3 Determinarea curentului și puterii absorbite corespunzătoare tensiunii nominale prin încărcare directă la tensiunea de alimentare redusă

Încercarea se efectuează conform 3.14.2, dar la o valoare redusă a tensiunii de alimentare. În timpul încerc se măsoară:

U_r – tensiunea de alimentare redusă, în volți;

P_{1r} – puterea absorbită, în wați;

I_{1r} – curentul absorbit, în amperi;

a – alunecarea;

$\cos\varphi_r$ – factorul de putere.

Se efectuează și o încercare de funcționare în gol, la tensiunea redusă U_r, determinându-se:

I_{0r} – curentul de funcționare în gol, în amperi;

$\cos\varphi_{0r}$ – factorul de putere.

Fazorul curentului I_1 corespunzător tensiunii nominale se obține cu ajutorul diagramei fazoriale din figura 8.

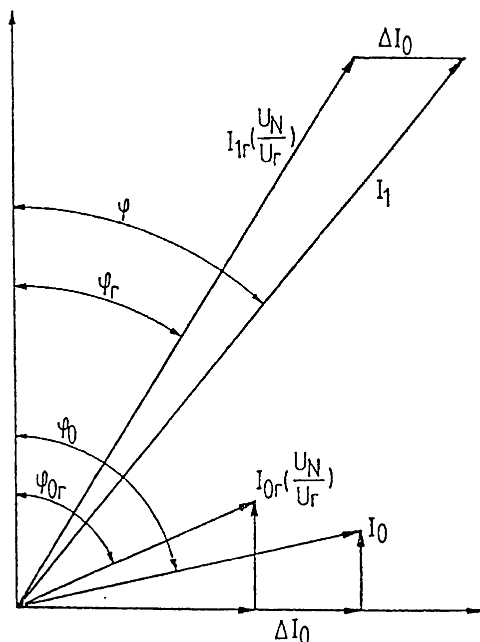


Figura 8

Se înmulțește valoarea I_{1r} cu raportul U_N / U_r și se reprezintă la scară, defazat în urmă cu unghiul φ_r față de ordonată.

Se adună fazorial mărimea ΔI_0 dată de relația:

$$\Delta I_0 = I_0 \sin\varphi_0 - I_{0r} \frac{U_N}{U_r} \sin\varphi_{0r}$$

în care:

I_0 – curentul la funcționarea în gol la tensiunea nominală U_N, determinat conform 3.8;

φ_0 – unghiul de defazaj la funcționarea în gol la tensiunea nominală, determinat conform 3.8.

Puterea absorbită la tensiunea nominală, corespunzătoare curentului I_1 determinat ca mai sus și alunecării (*a*), se determină cu relația:

$$P_1 = P_{1r} \left(\frac{U_N}{U_r}\right)^2 \quad [W]$$

3.15 Diagrama cercului

3.15.1 Diagrama cercului la motorul cu rotorul bobinat

3.15.1.1 Date necesare pentru construirea diagramei cercului:

a) Date obținute din încercarea la funcționare în gol (conform 3.8):

– curentul de fază la funcționarea în gol (I_0) la tensiune și frecvență nominale;

– diferența dintre pierderile la funcționarea în gol și pierderile mecanice (P_0 - p_m).

b) Date obținute din încercarea la scurtcircuit (conform 3.9):

– curentul de fază la scurtcircuit (I_{sc}) la tensiune și frecvență nominale, determinat prin calcul cu relația:

$$I_{sc} = I_{scN} \frac{U_N}{U_{scN}} \quad [A]$$

în care:

I_{scN} – curentul de fază la scurtcircuit egal cu cel nominal ($I_{scN} = I_N$), în amperi;

U_{scN} – tensiunea de linie la scurtcircuit, corespunzătoare curentului I_{scN}, în volți;

U_N – tensiunea nominală de linie, în volți;

– pierderile la scurtcircuit (P_{sc}) la tensiune și frecvență nominale, determinat prin calcul cu relația:

$$P_{sc} = P_{scN} \left(\frac{I_{sc}}{I_{scN}}\right)^2 \quad [kW]$$

în care:

P_{scN} – pierderile de la scurtcircuit la curentul I_{scN}, în kilowați;

I_{sc} și I_{scN} – cu semnificațiile de mai sus.

c) Rezistențele înfășurărilor (conform 3.5)

– rezistența pe fază a înfășurării statorice (R_1) raportată la temperatura teoretică de funcționare;

– rezistența pe fază a înfășurării rotorice (R_2) raportată la temperatura teoretică de funcționare și la înfășurarea statorică, determinată cu relația:

$$R_2' = R_2\, k_t^2 \qquad [\Omega]$$

în care:

R_2 – rezistența pe fază a înfășurării rotorice la temperatura teoretică de funcționare conform STAS 9904/3, în ohmi;

k_t – raportul de transformare determinat conform 3.6.

3.15.1.2 Construirea diagramei cercului (a se vedea figura 9)

Pentru construirea diagramei cercului, se procedează astfel:

– se alege scara curentului 1 mm = m [A]

– se determină scara puterii cu relația:

$$1\,\text{mm} = 3\,U_f\, m \frac{1}{1\,000} \qquad [\text{kW}]$$

în care U_f este tensiunea nominală de fază, în volți;

– se determină punctul de funcționare în gol O cu ajutorul curentului I_0 și pierderilor P_0 - p_m.

Pentru aceasta se construiește un arc de cerc cu centrul în O_1 și cu raza I_0. La distanța P_0 - p_m de axa absciselor se duce paralela OG la aceasta, care întâlnește arcul de rază I_0 în punctul O;

– prin punctul O se duce dreapta OD care formează unghiul α cu dreapta OG, unghi dedus din:

$$\sin\alpha = \frac{2\,I_0\,R_1}{U_f}$$

– se determină punctul de scurtcircuit K cu ajutorul curentului I_{sc} și al pierderilor P_{sc} (segmentul KH_1);

– prin punctele O și K se duce cercul curenților cu centrul în punctul C de pe dreapta OD;

– se duce dreapta OB care reprezintă dreapta cuplurilor electromagnetice, înclinată cu unghiul γ față de dreapta OD, unghi dedus din:

$$tg\,\gamma = \frac{D_a\,R_1}{U_f}$$

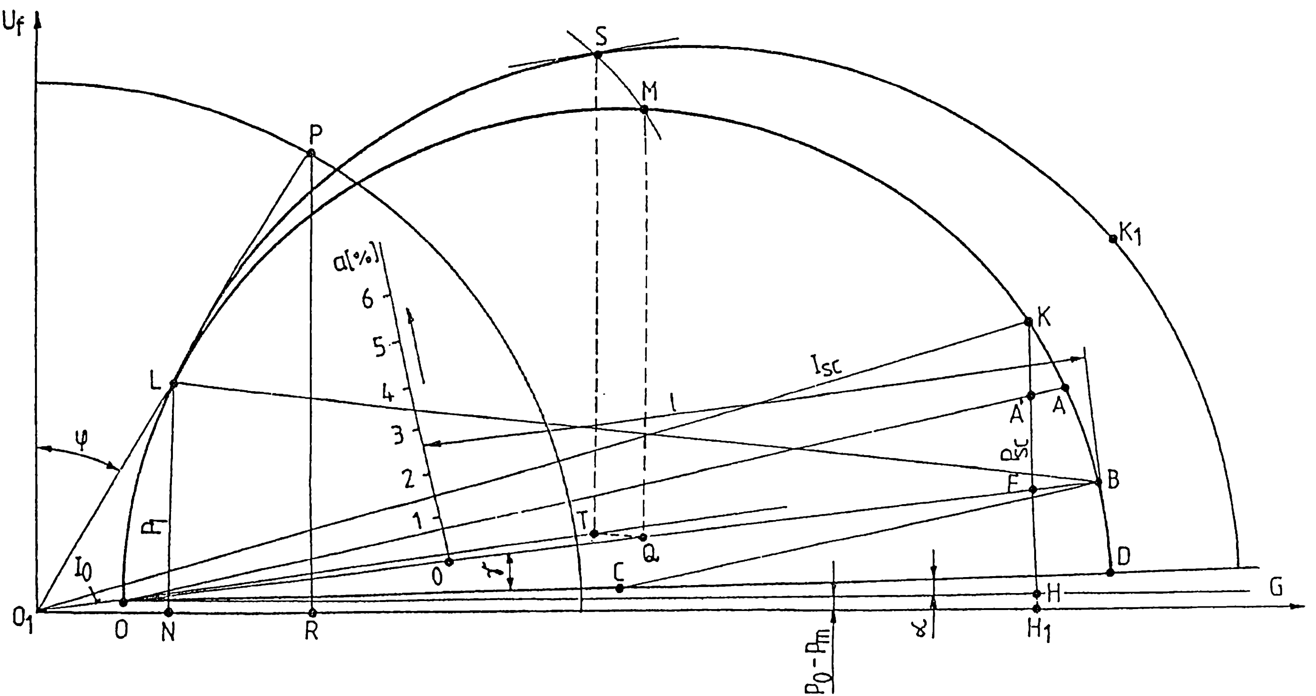


Figura 9

în care D_a este diametrul cercului (segmentul OD), exprimat în amperi. Punctul B corespunde alunecării $a = \pm\infty$, iar punctul F este intersecția dreptelor OB și KH_1;

- pe dreapta KH_1 se determină segmentul FA' a cărui valoare este obținută din relația:

$$FA' = FH \frac{R_2'}{R_1}$$

- se duce dreapta OA';

- se ia pe cercul cu centrul în C un punct L de funcționare; segmentul O_1L reprezintă curentul I_1 corespunzător puterii absorbite P_1.

3.15.1.3 Determinarea alunecării

Pentru determinarea alunecărilor se procedează astfel:

- se duce raza CB;

- pe dreapta OB se determină, începând din punctul B, segmentul l a cărui valoare este obținută cu relația:

$$l = \frac{FA'}{OF} 100 \qquad [cm]$$

- prin capătul segmentului l se duce scara alunecărilor, perpendicular pe raza CB;

- pe scara alunecărilor se trasează, de la dreapta OB, diviziunile, în procente, la scara un procent =1 cm.

Punctul de intersecție al dreptei BL cu scara alunecărilor determină valoarea alunecării corespunzătoare puterii absorbite P_1 a motorului asincron.

3.15.1.4 Determinarea factorului de putere

Pentru determinarea factorului de putere, se procedează astfel:

- se construiește un arc de cerc cu centrul în O_1 și cu raza de 100 mm;

- se prelungește dreapta O_1L până la intersecția ei cu arcul de cerc, în punctul P;

- din punctul P se duce perpendiculara PR pe axa absciselor; segmentul PR reprezintă valoarea factorului de putere, corespunzător puterii absorbite P_1.

3.15.1.5 Determinarea randamentului

Randamentul se calculează prin metoda pierderilor separate conform STAS 9904/8.

În acest scop, de pe cerc se determină puterea absorbită P_1, iar p_{Cu1} și p_{Cu2} se calculează cu ajutorul valorilor curentului I_1 și, respectiv, a alunecării a, obținute de asemenea din diagrama cercului pentru puterea absorbită P_1;

3.15.1.6 Determinarea valorilor nominale ale parametrilor motorului

Se ridică de pe diagrama cercului câteva puncte, corespunzătoare unor valori ale puterii absorbite cuprinse între (0,5...1,5) P_{1N} . Se reprezintă apoi în funcție de puterea utilă, valorile obținute pentru puterea absorbită P_1 , curentul I_1 , factorul de putere $\cos\varphi$, alunecarea a și randamentul η .

De pe caracteristicile trasate se determină, pentru puterea utilă nominală, valorile nominale ale parametrilor motorului.

3.15.2 Diagrama cercului la motorul asincron cu colivie simplă

Colivia se consideră simplă dacă este realizată dintr-o singură bară pe crestătură, a cărei înălțime nu depășește 10 mm pentru cupru și 16 mm pentru aluminiu, respectiv raportul dintre înălțimea barei și lățimea barei este mai mic sau egal cu 2,5.

3.15.2.1 Date necesare pentru construirea diagramei cercului

a) Date obținute din încercarea de funcționare în gol (conform 3.8)

- curentul de fază la funcționarea în gol (I_0), la tensiune și frecvență nominale;
- diferența dintre pierderile la funcționarea în gol și pierderile mecanice (P_0 - p_m);

b) Date obținute din încercarea la scurtcircuit (conform 3.9)

- curentul de fază la scurtcircuit (I_{sc}) la tensiune și frecvență nominale, determinat prin calcul cu relația:

$$I_{sc} = I_{scN} \frac{U_N}{U_{scN}} \qquad [A]$$

- pierderile la scurtcircuit (P_{sc}) la tensiune și frecvență nominale, determinate prin calcul cu relația

$$P_{sc} = P_{scN} \left(\frac{I_{sc}}{I_{scN}} \right)^2 \qquad [kW]$$

în care I_{scN}, P_{scN} și U_{scN} au aceleași semnificații ca la 3.15.1.1.

c) Rezistența pe fază a înfășurării statorice (R_1), determinată la temperatura teoretică de funcționare (a se vedea 3.15.1.1).

3.15.2.2 Construirea diagramei cercului (a se vedea figura 10)

Pentru construirea diagramei cercului, se procedează astfel:

- se alege scara curentului 1 mm = m [A];
- se determină scara puterii cu relația:

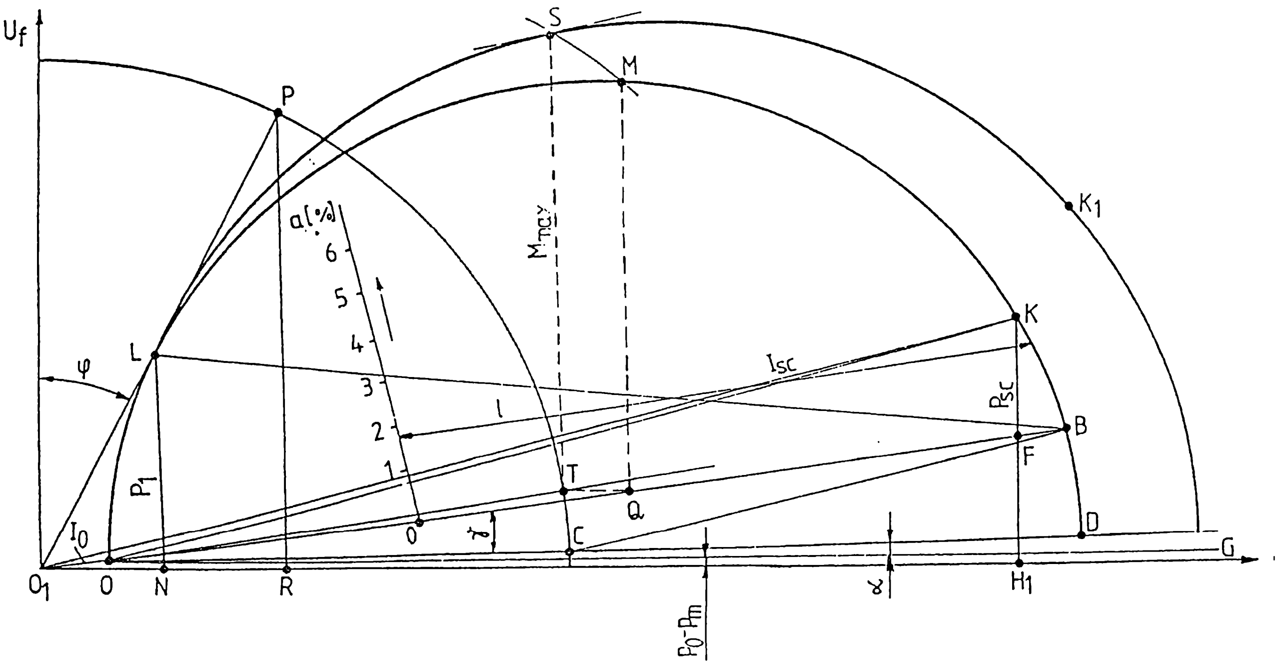

Uf
S
M
P
K1
a[%]
6
5
4
3
2
1
0
Mmax
K
Isc
L
φ
I
Psc
B
F
T
P1
Q
I0
D
C
G
O1
O
N
R
P0-Pm
H1

Figura 10

$$1\,\text{mm} = 3\,U_f\,m\,\frac{1}{1\,000} \qquad [\text{kW}]$$

în care U_f este tensiunea nominală de fază, în volți;

– se determină punctul de funcționare în gol O cu ajutorul curentului I_0 și pierderilor $P_0 - p_m$.

Pentru aceasta se construiește un arc de cerc cu centrul în O_1 și cu raza I_0. La distanța $P_0 - p_m$ de axa absciselor se duce paralela OG la aceasta, care întâlnește arcul de rază I_0 în punctul O;

– prin punctul O se duce dreapta OD care formează unghiul α cu dreapta OG, unghi dedus din:

$$\sin\alpha = \frac{2\,I_0\,R_1}{U_f}$$

– se determină punctul de scurtcircuit K cu ajutorul curentului I_{sc} și al pierderilor P_{sc} (segmentul KH_1);

– prin punctele O și K se duce cercul curenților cu centrul în punctul C de pe dreapta OD;

– se duce dreapta OB care reprezintă dreapta cuplurilor electromagnetice, înclinată cu unghiul γ față de dreapta OD, unghi dedus din:

$$tg\,\gamma = \frac{D_a\,R_1}{U_f}$$

în care D_a este diametrul cercului (segmentul OD), exprimat în amperi.

– se duce dreapta OK ce reprezintă dreapta puterii utile.

În continuare se procedează ca la 3.15.1.2 determinând puterea absorbită P_1 (segmentul LN) și curentul I_1 (segmentul O_1L).

3.15.2.3 Determinarea alunecării

Pentru determinarea alunecărilor se procedează astfel:

– se coboară perpendiculara KH_1 pe axa absciselor;

– se duce raza CB;

– pe dreapta OB se determină, începând din punctul B, segmentul l a cărui valoare se obține din relația:

$$l = \frac{KF}{OF}\,100 \qquad [\text{cm}]$$

– prin capătul segmentului l se duce scara alunecărilor, perpendicular pe raza CB;

– se trasează pe scara alunecării, de la dreapta OB, diviziunile a, în procente, la scara un procent =1 cm.

Punctul de intersecție al dreptei BL cu scara alunecării determină valoarea alunecării corespunzătoare puterii absorbite P_1 a motorului asincron.

3.15.2.4 Determinarea factorului de putere

Se procedează ca la 3.15.1.4.

3.15.2.5 Determinarea randamentului

Se procedează ca la 3.15.1.5.

3.15.2.6 Determinarea valorilor nominale ale parametrilor motorului

Se procedează ca la 3.15.1.6.

3.15.3 Diagrama cercului la motorul asincron cu dublă colivie sau bare înalte

3.15.3.1 Date necesare pentru construirea diagramei cercului:

a) Date obținute din încercarea la funcționare în gol (conform 3.8):

- curentul de fază la funcționarea în gol (I_0) la tensiune și frecvență nominale;
- diferența dintre pierderile la funcționarea în gol și pierderile mecanice (P_0 - p_m).

b) Date obținute din încercarea la funcționare la scurtcircuit (conform 3.9):

Pentru construirea diagramei cercului sunt necesare caracteristicile de scurtcircuit la frecvență redusă (f''= 5 Hz). Acestea pot fi determinate din încercarea la funcționare în scurtcircuit, efectuată și la frecvența de 25 Hz.

Succesiunea operațiilor de încercare, măsurările efectuate, precum și prelucrarea rezultatelor se fac similar cu încercarea la funcționarea la scurtcircuit la frecvența nominală (a se vedea 3.9).

Încercarea se efectuează până la o valoare a curentului de scurtcircuit de aproximativ 1,5 ori curentul nominal. De asemenea, caracteristicile de scurtcircuit la frecvență redusă (f'' = 5 Hz) pot fi determinate și din datele obținute la încercarea la funcționare în scurtcircuit la frecvența f'= 25 Hz și f = 50 Hz, conform 3.9.

Datele necesare sunt:

- curentul de fază la scurtcircuit $\left(I''_{sc}\right)$ la frecvența redusă f'', determinat prin calcul cu relația:

$$I''_{sc} = I''_{scN} \cdot \frac{U_N}{U''_{scN}} \cdot \frac{f''}{f} \qquad [A]$$

în care:

I''_{scN} – curentul de fază la scurtcircuit, la frecvență redusă, în cazul când este egal cu valoarea nominală a curentului $\left(I''_{scN} = I_N\right)$, în amperi;

U''_{scN} – tensiunea de fază la scurtcircuit corespunzătoare curentului I''_{scN} și frecvenței reduse f'', în volți;

U_N – tensiunea nominală de fază, în volți;

f – frecvența nominală, în herți;

– pierderile la scurtcircuit $\left(P''_{scN}\right)$ la frecvența redusă f'', determinate prin calcul cu relația:

$$P''_{sc} = P''_{scN}\left(\frac{I''_{sc}}{I''_{scN}}\right)^2 \qquad [kW]$$

în care:

P''_{scN} – pierderile la scurtcircuit corespunzătoare curentului I''_{scN}, în kilowați;

I''_{sc} și I''_{scN} au semnificația de mai sus.

c) Rezistența pe fază a înfășurării statorice (R_1), determinată conform 3.5 și raportată la temperatura teoretică de funcționare (a se vedea 3.15.1.1).

3.15.3.2 Construirea diagramei cercului (a se vedea figura 11)

Pentru construirea diagramei cercului, se procedează astfel:

– se alege scara curentului 1 mm = m [A]

– se determină scara puterii cu relația:

$$1\,\text{mm} = 3\,U_f\,m\frac{1}{1\,000} \qquad [kW]$$

în care U_f este tensiunea nominală de fază, în volți;

– se determină punctul de funcționare în gol O cu ajutorul curentului I_0 și pierderilor $P_0 - p_m$.

Pentru aceasta se construiește un arc de cerc cu centrul în O_1 și cu raza I_0. La distanța $P_0 - p_m$ de axa absciselor se duce paralela OG la aceasta, care întâlnește arcul de rază I_0 în punctul O;

– prin punctul O se duce dreapta OD care formează unghiul α cu dreapta OG, unghi dedus din:

$$\sin\alpha = \frac{2\,I_0\,R_1}{U_f}$$

– se determină punctul de scurtcircuit K''_1 cu ajutorul curentului I''_{sc} și a pierderilor P''_{sc} la frecvență redusă;

NOTĂ – Scara puterii la frecvență redusă este egală cu scara puterii la frecvența nominală înmulțită cu raportul f''/f.

– se duce dreapta OK''_1 și se rotește în sensul acelor de ceasornic cu unghiul $\alpha_1 - \alpha$ determinat de relația:

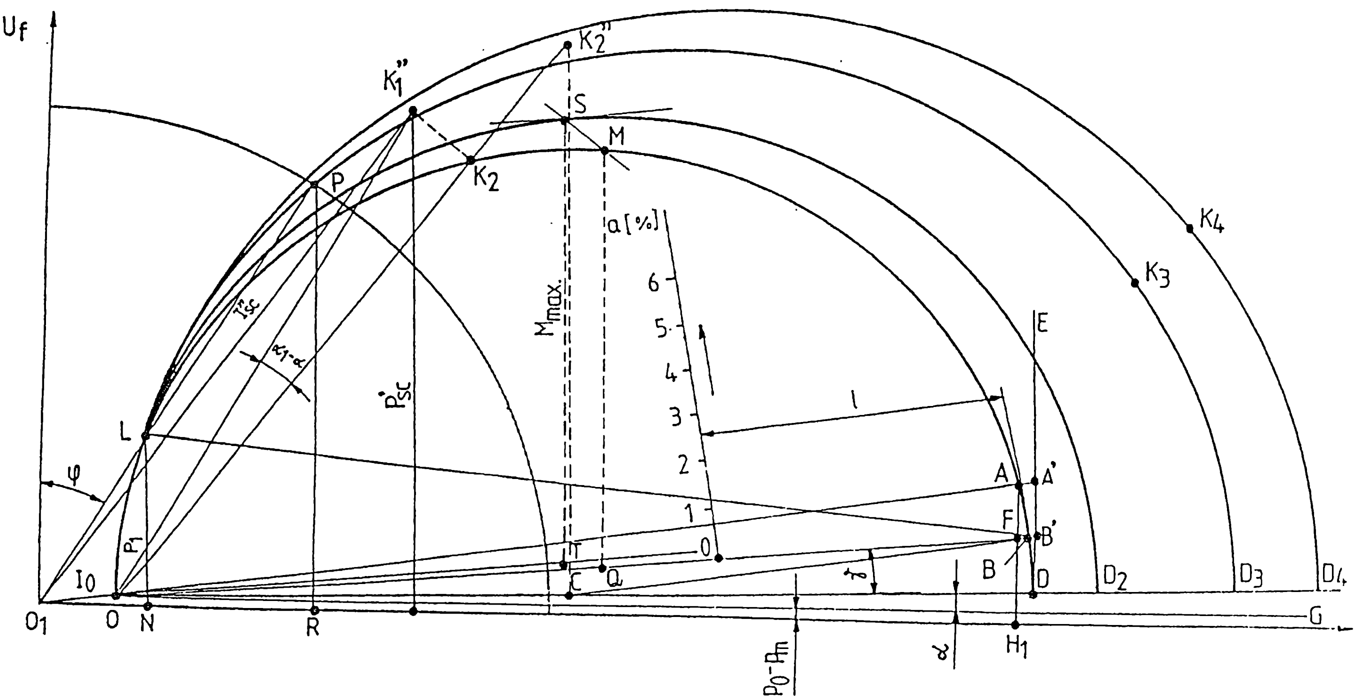

Uf
K1''
K2''
S
M
P
K2
K3
K4
Mmax.
a [%]
6
5
4
3
2
1
0
l
E
A
A'
F
B'
B
D
D2
D3
D4
L
φ
P1
I0
T
C
Q
O1
O
N
R
G
H1

Figura 11

$$tg\alpha_1 = \frac{f}{f''} \cdot tg\alpha = \frac{f}{f''} \cdot \frac{2 I_0 R_1}{U_f}$$

în care f, f'', I_0, R_0 și U_1 au semnificațiile de mai sus;

- prin punctul K_2 astfel obținut și prin punctul O se duce cercul curenților cu centrul în punctul C pe dreapta OD;

- prin centrul cercului C se duce o perpendiculară pe dreapta OD până la intersecția în punctul K_2'' cu prelungirea razei OK_2;

- din punctul D se ridică perpendiculara DE pe dreapta OD și se reprezintă pe ea segmentul DA':

$$DA' = 2\, CK_2'' \frac{f''}{f};$$

- se duce dreapta OA', care reprezintă dreapta puterii utile;

- se duce dreapta OB', care reprezintă dreapta cuplurilor electromagnetice, înclinată la un unghi γ față de dreapta OD, unghi dedus din:

$$tg\,\gamma = \frac{D_a R_1}{U_f}$$

în care D_a este diametrul cercului (segmentul OD), exprimat în amperi.

În continuare se procedează ca la 3.15.1.1 determinând puterea absorbită P_1 (segmentul LN) și curentul I_1 (segmentul O_1L).

3.15.3.3 Determinarea alunecării

Pentru determinarea alunecărli se procedează astfel:

- se duce raza CB;

- pe dreapta OB se determină, începând din punctul B, segmentul l, a cărui valoare se obține din relația:

$$l = \frac{B'A'}{OB'} 100 \qquad [cm]$$

- prin capătul segmentului l se duce scara alunecărilor, perpendicular pe raza CB;

- pe scara alunecărilor se trasează, de la dreapta OB, diviziunile a, în procente, la scara un procent =1 cm.

Punctul de intersecție al dreptei BL cu scara alunecărilor determină valoarea alunecării corespunzătoare puterii absorbite P_1 a motorului asincron.

3.15.3.4 Determinarea factorului de putere

Se procedează ca la 3.15.1.4.

3.15.3.5 Determinarea randamentului

Se procedează ca la 3.15.1.5.

3.15.3.6 Determinarea valorilor nominale ale parametrilor motorului

Se procedează ca la 3.15.1.6.

3.15.4 Diagrama cercului la motorul asincron cu rotorul bobinat sau motorul asincron cu colivie simplă, pentru determinarea cuplului maxim

3.15.4.1 Date necesare pentru construirea diagramei cercului

Conform 3.15.1.1, respectiv 3.15.2.1, cu observația că în acest caz se determină prin calcul curentul de fază la scurtcircuit I_{sc,U_N} și pierderile la scurtcircuit P_{sc,U_N} la tensiune și frecvență nominale, cu relațiile

$$I_{sc,U_N} = I''_{sc} \frac{U_N}{U''_{sc}} \qquad [A]$$

$$P_{sc,U_N} = P''_{sc} \left(\frac{I_{sc,U_N}}{I''_{sc}} \right)^2 \qquad [kW]$$

în care:

I''_{sc} – curentul de fază la scurtcircuit, în cazul când este egal cu $(2,5...4)I_N$, în amperi;

U''_{sc} – tensiunea de linie la scurtcircuit corespunzătoare curentului I''_{sc}, în volți;

U_N – tensiunea de linie nominală, în volți;

P''_{sc} – pierderile de scurtcircuit, la curentul I''_{sc}, în kilowați.

3.15.4.2 Construirea diagramei cercului (a se vedea figurile 9 și 10)

Conform 3.15.1.2, respectiv 3.15.2.2, cu următoarele completări:

– se construiește punctul de scurtcircuit K_1 cu ajutorul curentului I_{sc,U_N} și a pierderilor P_{sc,U_N} ;

– prin punctele O și K_1 se construiește un cerc cu centrul situat pe dreapta OD;

– paralel cu dreapta OB se duce tangenta la cercul OSK_1 în punctul S;

– din punctul O, cu o rază OS, se intersectează cercul OK în punctul M. Din punctul M se coboară o perpendiculară pe linia OG până la intersecția ei cu linia OB în punctul Q. Din punctul Q se duce linia QT paralelă cu linia OD. Din punctul S se coboară o perpendiculară pe linia OG. Intersecția acestei perpendiculare cu dreapta QT determină punctul T căutat;

Dreapta OT reprezintă dreapta cuplurilor pentru cercul OSK_1. Segmentul ST reprezintă, la scara puterii, cuplul maxim.

3.15.5 Diagrama cercului la motorul asincron cu rotorul în scurtcircuit cu colivie dublă sau cu bare înalte, pentru determinarea cuplului maxim

3.15.5.1 Date necesare pentru construirea diagramei cercului

Conform 3.15.3.1, cu observația că în acest caz se determină prin calcul:

– curentul de fază la scurtcircuit I_{sc3}, și pierderile la scurtcircuit P_{sc3}, la tensiune și frecvență nominale cu relațiile:

$$I_{sc3} = I_{scN} \frac{U_N}{U_{scN}} \qquad \text{[A]}$$

$$P_{sc3} = P_{scN} \left(\frac{I_{sc3}}{I_{scN}} \right) \qquad \text{[kW]}$$

în care:

I_{scN} – curentul de fază la scurtcircuit la frecvența nominală, când acesta este egal cu curentul nominal, în amperi;

U_{scN} – tensiunea de linie la scurtcircuit corespunzătoare curentului I_{scN}, în volți;

U_n – tensiunea nominală de linie, în volți;

P_{scN} – pierderile la scurtcircuit, la curentul I_{scN}, în kilowați;

– curentul de fază la scurtcircuit I_{sc4} și pierderile la scurtcircuit P_{sc4} la tensiune și frecvență nominale, cu relațiile:

$$I_{sc4} = I''_{sc} \frac{U_N}{U''_{sc}} \qquad \text{[A]}$$

$$P_{sc4} = P''_{sc} \left(\frac{I_{sc4}}{I''_{sc}} \right)^2 \qquad \text{[kW]}$$

în care:

I''_{sc} – curentul de fază la scurtcircuit, la frecvența nominală, când acesta este egal cu $(2,5...4)I_N$, în amperi;

P''_{sc} – pierderile de scurtcircuit, la curentul I''_{sc}, în kilowați;

U''_{sc} – tensiunea de linie la scurtcircuit, la curentului I''_{sc}, în volți;

U_N – tensiunea de linie nominală, în volți.

3.15.5.2 Construirea diagramei cercului (a se vedea figura 11)

Conform 3.15.3.2 cu mențiunea că se determină punctul de scurtcircuit K_3 cu ajutorul curentului I_{sc3} și a pierderilor P_{sc3}, precum și punctul de scurtcircuit K_4 pentru curentul $I_{sc\,4}$ și $P_{sc\,4}$.

Prin punctele O și K_3, precum și prin punctele O și K_4, se construiesc cercurile OK_3 și OK_4 cu centrele pe dreapta OD. Segmentul OD_2 este diametrul cercului OSD_2 care servește la determinarea cuplului maxim.

Acest segment se determină cu relația:

$$OD_2 = \frac{OD_4}{OD_3}$$

La construirea dreptei cuplurilor, pentru cercul OSD_2 se procedează similar ca la 3.15.4.2 (segmentul ST reprezintă, la scara puterii, cuplul maxim).

3.16 Determinarea cuplurilor

Cuplul maxim, cuplul minim în timpul pornirii și cuplul inițial de pornire se determină conform STAS 9904/6, cu precizările următoare:

3.16.1 Determinarea cuplului maxim

3.16.1.1 Metode directe de determinare a cuplului maxim

La motoarele asincrone cu puteri până la 500 kV inclusiv, cuplul maxim se determină prin metode directe.

Metodele directe se caracterizează prin aplicarea la arborele motorului asincron de încercat a unui cuplu rezistent, cu ajutorul unui generator electric sau prin alt procedeu și determinarea valorii cuplului pentru fiecare turație considerată.

3.16.1.1.1 Determinarea cuplului maxim cu ajutorul caracteristicilor de funcționare în sarcină

Pentru determinarea cuplului maxim prin această metodă, se ridică caracteristicile de funcționare în sarcină prin încărcare directă, conform 3.14. Din datele obținute se determină puterea utilă și apoi valoarea cuplului de rotație cu relația

$$M = 9{,}560\frac{P_2}{n} \qquad [\text{Nm}]$$

în care:

P_2 – puterea utilă a motorului, în volți;

n – turația rotorului, în rotații/minut, corespunzătoare valorii puterii utile determinate.

Caracteristicile de funcționare ale motorului de încercat se determină începând de la puterea utilă nulă până la o valoare la care cuplul la arbore începe să se micșoreze, pentru valori descrescătoare ale turației.

Ca valoare a cuplului maxim se adoptă cea mai mare din valorile determinate în condițiile specificate mai sus.

3.16.1.1.2 Determinarea cuplului maxim din caracteristica mecanică

Pentru determinarea cuplului maxim prin această metodă se ridică caracteristica mecanică în funcție de alunecare $M = f(a)$, fie caracteristica mecanică în funcție de turație $M = f(n)$.

Pentru ridicarea caracteristicii mecanice motorul asincron este cuplat cu o mașină de curent continuu cu excitație separată. Încercarea se face, în general, prin recuperarea energiei, generatorul de curent continuu debitând pe o rețea cu tensiune reglabilă.

Pentru fiecare punct ridicat de pe caracteristica mecanică se reglează turația motorului asincron de încercat, cu ajutorul mașinii de curent continuu. Se aplică apoi motorului asincron tensiunea nominală sau o valoare mai mică decât tensiunea nominală, la frecvența nominală.

După efectuarea măsurărilor corespunzătoare la fiecare punct, motorul asincron este deconectat de la sursa de alimentare, fiind antrenat în continuare la turația nominală și răcit.

Ridicarea unui punct trebuie să se facă într-un timp foarte scurt, pentru a evita mărirea erorilor datorită încălzirii înfășurărilor.

Din caracteristica mecanică ridicată se determină valoarea cuplului maxim.

În cazul în care caracteristica mecanică s-a ridicat la o tensiune diferită de cea nominală, valoarea cuplului maxim se recalculează, cunoscând că aceasta este proporțională cu pătratul tensiunii de alimentare.

Cuplul dezvoltat de motorul asincron la ridicarea caracteristicii mecanice se determină după cum urmează:

a) În cazul utilizării unei mașini dinamometru, cuplul mașinii se determină fie cu ajutorul greutăților în momentul atingerii echilibrului, fie cu un dinamometru, fie direct pe o scară gradată.

b) În cazul utilizării unei cuple torsiometrice, între motorul asincron de încercat și mașina de curent continuu se montează cupla torsiometrică. Prin intermediul acesteia, cu mijloace de măsurare corespunzătoare, se măsoară cuplul la arborele motorului.

c) În cazul utilizării unui generator de curent continuu de construcție clasică, pentru calculul cuplului sunt necesare următoarele caracteristici ale generatorului de curent continuu:

- caracteristica de funcționare în gol în regim de generator, $E_0 = f(i_0)$, la viteza de rotație constantă;
- caracteristica curentului de funcționare în gol în funcție de turație, $I_0 = f(n)$, pentru cuplu la arbore nul și la valoare constantă a curentului de excitație i_0 egală cu cea din timpul ridicării caracteristicii mecanice.

În timpul ridicării caracteristicii mecanice a motorului asincron, se măsoară curentul I_a din circuitul rotoric al generatorului de curent continuu și turația.

Valoarea cuplului la arbore se determină cu relația:

$$M = 9{,}560\,\frac{E_0}{n}\left(I_0 + I_a\right) \qquad [\text{Nm}]$$

în care:

n – turația la care se determină cuplul, în rotații/minut;

I_a – curentul din circuitul rotoric al generatorului de curent continuu (corespunzător turației n la care se determină cuplul M), în amperi;

E_0 – tensiunea la bornele mașinii în regim de generator (determinată conform punctului c), în volți;

I_0 – curentul de funcționare în gol (determinat conform punctului c), în amperi.

NOTĂ - Dacă rețeaua de curent continuu nu are tensiunea reglabilă, cuplul maxim poate fi determinat astfel:

- generatorul de curent continuu este pus să debiteze pe o rezistență electrică;
- se măsoară cuplul prin una din metodele de mai sus;
- se încarcă generatorul de la valoarea nulă a sarcinii la arbore, până la o valoare la care cuplul la arbore începe să se micșoreze, pentru valori descrescătoare ale turației;
- ca valoare a cuplului maxim se adoptă cea mai mare dintre valorile determinate.

3.16.1.2 Metoda indirectă de determinare a cuplului maxim (utilizând diagrama cercului)

La motoarele asincrone cu puteri mai mari de 500 kW cuplul maxim se determină indirect, cu ajutorul diagramei cercului, conform 3.15.4, respectiv 3.15.5.

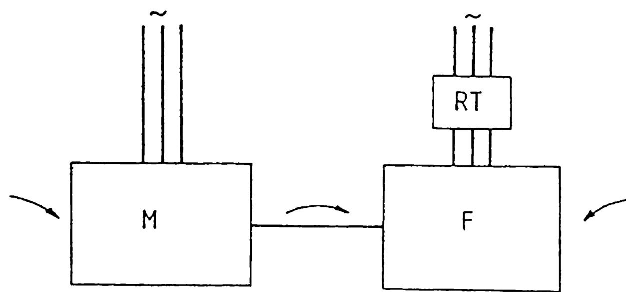
3.16.2 Determinarea cuplului minim în perioada pornirii

3.16.2.1 Determinarea cuplului minim cu ajutorul caracteristicii mecanice

Ridicarea caracteristicii mecanice a motorului asincron se face conform 3.16.1.1.2. Din caracteristica mecanică se determină valoarea cupului minim.

3.16.2.2 Determinarea cuplului minim prin încărcare directă în perioada pornirii

Pentru determinarea cuplului prin această metodă, motorul asincron de încercat (M) se cuplează cu un motor asincron trifazat, care servește ca sarcină (F) și a cărui putere trebuie să fie de (1,5...2) ori mai mare decât a motorului de încercat, conform schemei de principiu din figura 12.



M-motor asincron de încercat
MT-regulator de inducţie;
F- maşină asincronă care serveşte ca sarcină

Figura 12

Mașina asincronă F funcționează în regim de frână electromagnetică, creând astfel cuplul rezistent pentru motorul asincron M. Mărimea cuplului de frânare se reglează cu ajutorul tensiunii aplicate mașinii asincrone F, care trebuie tarată în prealabil, adică trebuie determinată variația cuplului la arbore în funcție de valoarea tensiunii aplicate la funcționarea în regim de frână electromagnetică.

Determinarea cuplului minim se face în felul următor:

Se aplică mașinii asincrone F o tensiune scăzută, corespunzătoare unei anumite mărimi a cuplului de frânare. Concomitent cu mașina asincronă F se conectează la rețea și motorul asincron M.

Pornirea motorului asincron M se face la diferite cupluri de frânare la arbore, valoarea acestora reglându-se cu ajutorul tensiunii aplicate mașinii asincrone F.

Din aceste încercări se determină valoarea cea mai mare a cuplului de frânare, la care agregatul ajunge la o turație apropiată de cea nominală a motorului asincron încercat M. Aceasta se adoptă ca valoare a cuplului minim dezvoltat de motor în perioada pornirii.

3.16.3 Determinarea cuplului inițial de pornire

La motoarele asincrone de putere până la 100 kW determinarea cuplului inițial de pornire prin metode indirecte sau directe se face la tensiunea $U = (1 \pm 0,1)\ U_N$.

Pentru motoarele cu puteri mai mari de 100 kW cuplul inițial de pornire se determină la tensiuni mai mici decât cea nominală și se recalculează cu relația

$$M_p = M'_p \left(\frac{I_p}{I_{sc}}\right)^2 \qquad \text{[Nm]}$$

în care:

M'_p – cuplul dezvoltat de motor la curentul I_{sc}, în newtonmetri;

I_{sc} – curentul de scurtcircuit la care se măsoară cuplul, în amperi;

I_p – curentul de scurtcircuit corespunzător tensiunii nominale, în amperi.

3.16.3.1 Determinarea cuplului inițial de pornire din încercarea motorului asincron în regim de scurtcircuit

Din această încercare cuplul inițial de pornire se obține, conform 3.9.3.3, indirect, prin calcul, sau direct, prin metoda brațului de pârghie.

În acest scop se determină poziția relativă a rotorului față de stator, pentru care puterea absorbită de la rețea la încercarea la scurtcircuit este minimă, adică poziția pentru care cuplul este minim. În această poziție rotorul se blochează, se face încercarea la scurtcircuit și se determină cuplul inițial de pornire conform 3.9.3.3.

3.16.3.2 Determinarea cuplului inițial de pornire din caracteristica mecanică

Ridicarea caracteristicii mecanice a motorului asincron se face conform 3.16.1.1.2. Pentru determinarea cuplului inițial de pornire, agregatul motor de încercat – generator de sarcină se aduce la o turație foarte mică, de ordinul a una sau două rotații/minut și se determină valoarea minimă a cuplului la tensiunea de alimentare a motorului, constantă.

3.16..3.3 Determinarea carcteristicii mecanice prin metoda dinamică

Caracteristica mecanică ridicată prin această metodă se folosește pentru identificarea zonelor caracteristicii $M = f(n)$ în care apar cupluri parazitare.

a) Principiul metodei

Metoda se bazează pe relația

$$M = \frac{J}{K} \cdot \frac{dn}{dt} \qquad [Nm]$$

în care:

J - momentul de inerție al maselor în rotație, în kilogram-metri;

$K = 60 / (2\pi)$

dn / dt – accelerația rotorului, în (rotații/ minut)/ secundă.

b) Mod de lucru

Se aduce rotorul la turația nominală prin alimentarea înfășurării statorului de la o sursă cu tensiune nominală și putere mult mai mare decât cea a motorului.

Se deconectează de la rețea și se reconectează instantaneu la aceasta, sensul succesiunii fazelor fiind schimbat, realizându-se inițial regimul $s \cong 2$.

Se înregistrează accelerația în domeniul $2 \geq s \geq 0$.

Pentru determinarea accelerației dn / dt a maselor în rotație se utilizează accelerometre a căror clasă de precizie, stabilită metrologic, corespunde STAS 9904/1-81.

Metoda dinamică nu poate fi utilizată la certificarea prototipului întrucât nu permite determinarea amplitudinii cuplurilor parazite. Se poate utiliza ca încercare de lot folosind ca etalon caracteristica mecanică statică și caracteristica dinamică ridicate la încercarea prototipului.

3.17 Determinarea reactanței de scăpări X_{s1} corepunzătoare solenației statorului. Metoda rotorului scos

3.17.1 Înfășurare cu număr întreg q de crestături pe pol și fază

Pe armătura statorului, rotorul fiind scos, în axele longitudinale a doi dinți, la suprafața lor, se montează o spiră sondă, la pas diametral. Laturile active ale bobinei sondă sunt egale cu lungimea fierului. Capetele frontale ale bobinei sondă sunt dirijate de-a lungul circumferinței circuitului magnetic stator, la extremitățile sale, astfel încât să nu fie înlănțuite de fluxul de scăpări al capetelor frontale ale bobinajului stator.

La bornele bobinei sondă se conectează un voltmetru cu impedanța internă foarte mare.

Se alimentează înfășurarea statorului cu un sistem simetric de tensiuni și se măsoară tensiunea de fază U_1, curentul de fază I_1, puterea P_1 și tensiunea U_m la bornele bobinei sondă.

Se determină impedanța pe fază cu expresia

$$Z_a = \frac{U_1}{I_1} = \sqrt{(R_1 + R_m)^2 + (X_{s1} + X_m)^2} \qquad [\Omega]$$

în care:

- R_1 – rezistența pe fază, în ohmi;
- R_m – rezistența fictivă corespunzătoare pierderilor în fier, în ohmi;
- X_m – reactanța corespunzătoare fluxului care se închide prin întrefierul din interiorul statorului, de la pol la pol, în ohmi;

Se calculează

$$R_a = R_1 + R_m = \frac{P_1}{3 I_1^2} \qquad [\Omega]$$

$$X_a = X_{s1} + X_m = \sqrt{Z_a^2 - R_a^2} \qquad [\Omega]$$

$$X_m = \frac{U_m}{I_1} \cdot \frac{k_{w1}\, w_1}{w_b} \qquad [\Omega]$$

în care:

w_1 – numărul de spire pe fază al înfășurării statorului;

k_{w1} – factorul de bobinaj al înfășurării statorului;

w_b – numărul de spire al bobinei sondă, de obicei egal cu unu.

Reactanța de scăpări este:

$$X_{s1} = X_a - X_m \qquad [\Omega]$$

3.17.2 Înfășurarea cu numărul fracționar q de crestături pe pol și fază

În acest caz laturile active ale bobinei sondă au pasul astfel încât să cuprindă numărul întreg Q, cel mai mare, într-un pas polar.

Reactanța corespunzătoare fluxului din interiorul spațiului liber al statorului se calculează cu expresia:

$$X_m = \frac{U_m}{I_1} \cdot \frac{k_{w1} W_1}{w_b \sin\left(\frac{Q}{3q} \cdot \frac{\pi}{2}\right)} \qquad [\Omega]$$

în care q este numărul dat de crestături pe pol și fază.